

Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua

UNAN-RURD

Facultad de Ciencias e Ingenierías

Departamento de Construcción

Ingeniería Civil



Monografía para optar al título de Ingeniero Civil

TEMA

“Modelación hidrológica para la micro cuenca San Isidro
Libertador usando el programa HMS”.

Elaborado por:

👑 Br. Juvielka Daniela Mendoza Gómez.

👑 Br. Dafned Itziar Tirado Flores.

Tutor: MSc. Héctor Mayorga Pauth

Managua, mayo 2017

Dedicatoria

Este logro es para el más importante de todos, a quien me debo, por quien y para quien éxito: DIOS mi creador. Quien nos amó tanto que no creo robots, sino seres libres de escoger entre el bien y el mal, entre amarlo o rechazarlo. Quien ideó el plan perfecto para que seres imperfectos y pecadores, pudiéramos recibir el perdón de pecados y el regalo más hermoso como lo es la “vida eterna”.

A mis padres Filemón Mendoza y Lidia Gómez, que con gran amor, esfuerzo y sacrificio me han ayudado a alcanzar mis metas, por ser la razón que a diario aumenta mis ganas y deseos de superación; no se los digo, pero los amo y siempre daré lo mejor de mí para honrarles y puedan estar orgullosos.

A mi tía Antonia Gómez, por estar siempre al pendiente de mí, por motivarme a seguir adelante, a luchar por lo que quiero, por trascender del papel de una tía, y ser como una madre para mí.

A mis hermanos por estar siempre junto a mí, y servir de ejemplo para conquistar todo lo que deseamos.

A mis amigas Flor Ortega y Migdalia Vallecillo, por permanecer aquí hasta el final, por su apoyo incondicional, por ser parte de esa familia que no necesita llevar sangre entre sus venas, este triunfo también es de ustedes chicas, las quiero.

A ti mi amigo y colega Dafned Tirado por poder finalizar juntos esta etapa de nuestras vidas.

“El único modo de lograr lo imposible, es convencerse que es posible”.

Juvielka Daniela Mendoza Gómez.

Dedicatoria

A Dios quien es fuente y vida de todo conocimiento eterno, quien me permitió salir adelante con éste trabajo que, hasta el momento, es mi mayor logro y es quien me llenó de salud, bienestar y sobre todo me sigue prestando la vida que estoy disfrutando. A Dios por sobre toda las cosas ya que es nuestro padre eterno todopoderoso, creador de nuestras vidas que con su gran e inmenso amor me motivó y me dio la gracia, la sabiduría y la perseverancia para concluir éste pequeño pero importante trabajo.

A mis padres, ya que siempre me apoyaron y me motivaron a salir adelante en mis estudios y mi preparación, siempre me guiaron por el camino del bien, el camino de las responsabilidades, ellos son la base de mi inspiración, del porque quiero superarme y llegar lejos siempre, ellos han estado con mucha constancia, al pendiente de mí, y me han brindado continuamente un apoyo incondicional tanto amoroso como educativo el cual me ha servido de soporte en mi preparación profesional.

A mis abuelas, quienes son unas verdaderas mujeres emprendedoras, quienes siempre se preocuparon por el bien de toda su familia y constantemente velaron por mi bienestar, que gracias a sus cuidados, cariños y consejos continuamente tuve las oportunidades de escoger lo mejor para mí, pero sobre todo a mi mamita Beatriz (Mirna), que a pesar de haber sufrido un derrame cerebral siempre estuvo a mi lado apoyándome y alentándome en todo momento, nunca dejó que me rindiera ni mucho menos que pensara en fracasar, ella es mi gran ejemplo de superación e incansablemente me mostró de que si yo me propongo una meta o un objetivo, con esfuerzo y dedicación todo lo puedo, gracias abuelas por no descuidarme y siempre brindarme todo su amor, ese amor absoluto de abuela.

A mis hermanos menores Víctor (pipe) y Alexis (tulon), porque son ellos con quienes puedo contar, y puedo decir que son mis mejores amigos, gracias hermanitos porque con ustedes la vida se disfruta más. Ellos son mi base de superación, quienes me impulsan a ser una mejor persona cada día de mi existencia, a quienes trato de dar el mejor ejemplo, el de superación, a pesar de que son mis hermanos menores ellos me enseñan mucho, a ser aún más responsable, a dar mucho más de mí, ellos me hacen ser una mejor persona, una persona de bien que siempre está al pendiente de ellos y siempre recibo el mejor trato por parte de ellos. Son una parte importante de mi vida y están dentro de mi corazón en todo momento.

A ti mi amiga, compañera y colega por ser parte de esta gran aventura del conocimiento.

Dafned Stiziar Tirado Flores.

Agradecimiento

Quiero agradecer primeramente a Dios, por darme las fuerzas, por recordarme día a día que él está conmigo; por poner en camino a personas especiales, las cuales han estado dispuestas a apoyarme y animarme en el transcurso de esta etapa.

A mis padres por confiar en mí, y haberme apoyado cada día, a mis hermanos por estar alentándome siempre.

A cada uno de los profesores del departamento de construcción por sus valiosos conocimientos, en especial al profesor Víctor Tirado por haberme brindado su amistad, y sus palabras de aliento cuando el paisaje se miraba gris.

A nuestro tutor MSc. Héctor Mayorga, por su ayuda, conocimientos y el tiempo invertido en la realización de este documento.

A la generación 2011-2015, en especial a Kerlyn Orozco, Denis Sandoval, Alfonso Rivera, Jarim López, por su amistad, apoyo y ayuda en esas clases que tuve dificultad.

A ustedes Flor Ortega, Migdalia Vallecillo, por su apoyo incondicional dentro y fuera de ese salón de clases. Gracias a Dios por haberme bendecido con su amistad, toda la vida estaré eternamente agradecida con ustedes.

A todas aquellas personas que de una u otra forma han sido partícipes a lo largo de esta trayectoria.

“Los pesimistas solo ven: Un final sin esperanza, los optimistas ven: una esperanza sin FINAL”.

Juvielka Daniela Mendoza Gómez.

Agradecimiento

Primeramente, a Dios quien es motor principal, es a quien le debo todo lo que soy, todo lo que he hecho, todo lo que he logrado y por supuesto éste trabajo monográfico, quien me ha regalado la dicha de estar vivo y haber podido concluir este trabajo, quien me regaló a las personas más especiales de mi vida, las cuales me guiaron por el buen camino, el camino de la sabiduría y de la educación, gracias Dios.

A mis padres Víctor Tirado P. y Sandra Flores S. , quienes han sido ejemplo en mi vida, quienes desde pequeño me han inculcado los buenos valores, las buenas enseñanzas y siempre me impulsaron a salir adelante, gracias papá y mamá porque es gracias a ustedes y su gran apoyo que he logrado terminar este proyecto, infinitas gracias porque a pesar de todas las adversidades siempre me han apoyado y me han extendido la mano, siempre han estado pendiente y cuidado de mí en todo ámbito de mi existencia, desde la educación hasta la salud, los amo mis queridos padres.

A los allegados y cercanos a mí, porque gracias a sus consejos y apoyo moral es que he podido tener perseverancia en éste trabajo monográfico, gracias por darme ánimos para salir adelante, los quiero mucho.

Dafned Itz'iar Tirado Flores.

Índice

Abreviaturas	6
Resumen.....	7
Alcances y limitaciones	8
1. Capítulo 1: Aspectos Generales	9
1.1. Introducción.....	10
1.2. Antecedentes	11
1.3. Planteamiento del Problema	12
1.4. Justificación	13
1.5. Objetivos	14
1.5.1. Objetivo General.	14
1.5.2. Objetivos Específicos.....	14
1.6. Marco teórico.....	15
1.6.1. Generalidades.	15
1.6.2. Características físicas de una cuenca.....	16
1.1.1. HMS.....	23
1.2. Diseño Metodológico	26
1.2.1. Tipo de investigación.....	26
1.2.2. Población y muestra.	26
1.2.4. Instrumento de recopilación de datos.....	26
2. Capitulo II: Desarrollo	27
2.1. Caracterización de la cuenca.....	28
2.1.1. Características generales del municipio de Managua.....	28
- <i>Macro y micro localización</i>	28
2.1.2. Descripción del Distrito III de Managua.....	31
2.1.3. Características físicas de la cuenca en estudio.....	32
2.2. Identificación de los parámetros hidrológicos	40
2.2.1. Tiempo de concentración.....	40
2.2.2. Parámetros K y X para tránsito de caudales.	43
2.2.3. Modelación Hidrológica- Modelo HMS.	44
2.2.4. Especificaciones de Control.....	50
2.2.5. Simulación Hidrológica.....	50

-	<i>Resultados de la Modelación Hidrológica</i>	51
-	<i>Resultados de la micro cuenca 1</i>	52
-	<i>Resultados de la micro cuenca 2</i>	53
-	<i>Resultados de la micro cuenca 3</i>	54
-	<i>Resultados en el nodo 1</i>	55
-	<i>Resultados en un tramo</i>	56
-	<i>Resultados del nodo 2</i>	57
-	<i>Resultado en el embalse</i>	58
2.3.	Comparación del caudal en los escenarios de la modelación actual y futura a 25 años. .	59
2.3.1.	Modelación Hidrológica- Modelo HMS	59
2.3.2.	Modelo Meteorológico	60
2.3.3.	Especificaciones de control	60
2.3.4.	Simulación Hidrológica	61
-	<i>Resultados de la Modelación Hidrológica</i>	61
-	<i>Resultados de la micro cuenca 1</i>	61
-	<i>Resultados de la micro cuenca 2</i>	62
-	<i>Resultados del nodo 1</i>	63
-	<i>Resultados del tramo 1</i>	64
-	<i>Resultados de la micro cuenca 3</i>	65
-	<i>Resultados del nodo 2</i>	66
-	<i>Resultados del embalse</i>	67
3.	Análisis de resultados	70
3.1.	Características físicas de la micro cuenca	70
3.2.	Modelamiento hidrológico de la micro cuenca	71
3.3.	Comparación del caudal en los escenarios de la modelación actual y futura	72
4.	Capítulo IV: Conclusiones y Recomendaciones.	73
4.1.	Conclusión	74
4.2.	Recomendaciones.	75
5.	Bibliografía	77
6.	Anexos	78
6.1.	Imágenes	79

6.2. Rectángulo Equivalente	82
6.3. Planos	83

Índice de tablas

TABLA 1. VALOR DE CN SEGÚN EL SERVICIO DE CONSERVACIÓN DE SUELOS DE LOS ESTADOS UNIDOS.	22
TABLA 3. ELEVACIÓN, DIFERENCIA ENTRE ELEVACIONES Y SUPERFICIE COMPRENDIDA ENTRE CADA DOS ELEVACIONES.	34
TABLA 4. CLASIFICACIÓN DE PENDIENTES MEDIAS DE TERRENO.....	35
TABLA 5. ÁREA, PORCENTAJE ACUMULADO Y SUPERFICIE COMPRENDIDA ENTRE DOS CURVAS DE LA SUB-CUENCA.	36
TABLA 6. DATOS DE INTENSIDADES EN ORDEN DECRECIENTE.....	37
TABLA 7. PERIODO DE RETORNO.....	39
TABLA 8. CLASIFICACIÓN DE LA MICRO CUENCA, ÁREA Y LONGITUD DE RIO.	40
TABLA 9. CARACTERÍSTICAS FISIGRÁFICAS DE LAS 3 MICRO CUENCAS EN ESTUDIO.	43
TABLA 10. PARÁMETROS PARA LA MODELACIÓN EN EL MODELO HMS.....	44
TABLA 11. TORMENTA DE DISEÑO PARA UN PERIODO DE RETORNO DE 25 AÑOS.	47

Índice de Gráficos

GRAFICO 1. REPRESENTACIÓN DE LA CURVA HIPSOMÉTRICA.....	37
GRAFICO 2. REPRESENTACIÓN DE LA CURVA IDF.	39
GRAFICO 3. ESQUEMATIZACIÓN DE LA TORMENTA DE PROYECTO.....	48
GRAFICO 4. REPRESENTACIÓN DEL HIETOGRAMA DE LA TORMENTA, MICRO CUENCA 1.	52
GRAFICO 5. REPRESENTACIÓN DEL HIETOGRAMA DE LA TORMENTA MICRO CUENCA 2.	53
GRAFICO 6. REPRESENTACIÓN DEL HIETOGRAMA DE LA TORMENTA MICRO CUENCA 3	54
GRAFICO 7. HIDROGRAMA DE LA UNIÓN DE CORRIENTE EN EL NUDO 1.....	55
GRAFICO 8. HIDROGRAMA DEL TRAMO DE CORRIENTE-1 ENTRE EL NUDO 1 Y EL NUDO 2.....	56
GRAFICO 9. HIDROGRAMA DE LA UNIÓN DE CORRIENTE EN EL NUDO 2.....	57
GRAFICO 10. HISTOGRAMA EN EL EMBALSE.....	58
GRAFICO 11. ESQUEMATIZACIÓN DE LA TORMENTA DE PROYECTO MODELACIÓN FUTURA.	60
GRAFICO 12. REPRESENTACIÓN DEL HIETOGRAMA DE LA TORMENTA MICRO CUENCA 1, MODELACIÓN FUTURA.	62
GRAFICO 13. REPRESENTACIÓN DEL HIETOGRAMA DE LA TORMENTA MICRO CUENCA 2, MODELACIÓN FUTURA.	63
GRAFICO 14. HIDROGRAMA DE LA UNIÓN DE CORRIENTE EN EL NUDO 1, MODELACIÓN FUTURA.	64
GRAFICO 15. HIDROGRAMA DEL TRAMO DE CORRIENTE-1 ENTRE EL NUDO 1 Y EL NUDO 2, MODELACIÓN FUTURA.	65
GRAFICO 16. REPRESENTACIÓN DEL HIETOGRAMA DE LA TORMENTA MICRO CUENCA 3, MODELACIÓN FUTURA.	66
GRAFICO 17. HIDROGRAMA DE LA UNIÓN DE CORRIENTE EN EL NUDO 2, MODELACIÓN FUTURA.	67
GRAFICO 18. HISTOGRAMA EN EL EMBALSE.....	68

Índice de Figuras

FIGURA 1. PARTES DE UNA CUENCA.	16
FIGURA 2. ORDEN DE RIO.	18
FIGURA 3. MACRO Y MICRO LOCALIZACIÓN DE MANAGUA.	28
FIGURA 4. DISTRIBUCIÓN DE LOS DISTRITOS DE MANAGUA.	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
FIGURA 5. RECTÁNGULO EQUIVALENTE. DELIMITACIÓN DE LA MICRO CUENCA SAN ISIDRO LIBERTADOR.	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
FIGURA 6. ESQUEMATIZACIÓN DE LA MODELACIÓN HIDROLÓGICA DE LA MICRO CUENCA SAN ISIDRO, UBICADA EN EL DISTRITO 3 DE LA CIUDAD DE MANAGUA.	45
FIGURA 7. PANTALLA DE EDITOR DE COMPONENTES DEL MODELO METEOROLÓGICO.	49
FIGURA 8. PANTALLA DE EDITOR DE COMPONENTES DEL MODELO METEOROLÓGICO PANTALLA BASINS , PARA AGREGAR SUB-CUENCAS QUE REQUIEREN DATOS DEL MODELO.	49
FIGURA 9. PANTALLA DE CONTROL DE ESPECIFICACIONES TEMPORALES SOBRE LA TORMENTA USADA PARA CORRER EL MODELO DE LA CUENCA SAN ISIDRO.	50
FIGURA 10. RESUMEN DE LOS RESULTADOS DEL CAUDAL PUNTA Y VOLUMEN DE AGUA ASOCIADO A CADA UNO DE LOS ELEMENTOS HIDROLÓGICOS.	51
FIGURA 11. RESUMEN DE RESULTADOS DE LA MICRO CUENCA 1. (CAUDAL PUNTA, PRECIPITACIÓN TOTAL, LLUVIA NETA EN EL SUELO Y LLUVIA NETA).	52
FIGURA 12. RESUMEN DE RESULTADOS DE LA MICRO CUENCA 2. (CAUDAL PUNTA, PRECIPITACIÓN TOTAL, LLUVIA NETA EN EL SUELO Y LLUVIA NETA).	53
FIGURA 13. RESUMEN DE RESULTADOS DE LA MICRO CUENCA 3. (CAUDAL PUNTA, PRECIPITACIÓN TOTAL, LLUVIA NETA EN EL SUELO Y LLUVIA NETA).	54
FIGURA 14. RESUMEN DE RESULTADOS DE LA UNIÓN DE CORRIENTE-1 (CAUDAL PUNTA).	55
FIGURA 15. RESUMEN DE RESULTADOS DEL TRAMO DE CORRIENTE-1 (CAUDAL PUNTA).	56
FIGURA 16. RESUMEN DE RESULTADOS DE LA UNIÓN DE CORRIENTE-1 (CAUDAL PUNTA).	57
FIGURA 17. RESUMEN DE RESULTADOS EN EL EMBALSE (CAUDAL PUNTA).	58
FIGURA 18. ESQUEMATIZACIÓN DE LA TORMENTA DE PROYECTO MODELACIÓN FUTURA.	59
FIGURA 19. PANTALLA DE CONTROL DE ESPECIFICACIONES TEMPORALES SOBRE LA TORMENTA USADA PARA CORRER EL MODELO DE LA CUENCA SAN ISIDRO, MODELACIÓN FUTURA.	60
FIGURA 20. RESUMEN DE LOS RESULTADOS DEL CAUDAL PUNTA Y VOLUMEN DE AGUA ASOCIADO A CADA UNO DE LOS ELEMENTOS HIDROLÓGICOS, MODELACIÓN FUTURA.	61
FIGURA 21. RESUMEN DE RESULTADOS DE LA MICRO CUENCA 1. (CAUDAL PUNTA, PRECIPITACIÓN TOTAL, LLUVIA NETA EN EL SUELO Y LLUVIA NETA), MODELACIÓN FUTURA.	61
FIGURA 22. RESUMEN DE RESULTADOS DE LA MICRO CUENCA 2. (CAUDAL PUNTA, PRECIPITACIÓN TOTAL, LLUVIA NETA EN EL SUELO Y LLUVIA NETA), MODELACIÓN FUTURA.	62
FIGURA 23. RESUMEN DE RESULTADOS DE LA UNIÓN DE CORRIENTE-1 (CAUDAL PUNTA), MODELACIÓN FUTURA.	63
FIGURA 24. RESUMEN DE RESULTADOS DEL TRAMO DE CORRIENTE-1 (CAUDAL PUNTA), MODELACIÓN FUTURA.	64
FIGURA 25. RESUMEN DE RESULTADOS DE LA MICRO CUENCA 3. (CAUDAL PUNTA, PRECIPITACIÓN TOTAL, LLUVIA NETA EN EL SUELO Y LLUVIA NETA), MODELACIÓN FUTURA.	65

FIGURA 26. RESUMEN DE RESULTADOS DE LA UNIÓN DE CORRIENTE-1 (CAUDAL PUNTA), MODELACIÓN FUTURA.	66
FIGURA 27. RESUMEN DE RESULTADOS EN EL EMBALSE (CAUDAL PUNTA), MODELACIÓN FUTURA.	67
FIGURA 28. EMBALSE SAN ISIDRO LIBERTADOR.	79
FIGURA 29. CAUCE NATURAL DE LA RED HÍDRICA DE LA MICRO CUENCA SAN ISIDRO LIBERTADOR.	79
FIGURA 30. ENTRADA DEL ALIVIADERO DEL EMBALSE.	80
FIGURA 31. SALIDA DEL ALIVIADERO DEL EMBALSE.	80
FIGURA 32. EMBALSE, BASE POLICIAL Y RESIDENCIAL “COLINAS DEL MEMORIAL SANDINO”.	81

Abreviaturas

A: área de la cuenca

Am: altitud media

CN: número de curvas

Dd: densidad de drenaje

HEC-HMS: hydrologic modeling system

Hmax: altura máxima

Hmin: altura mínima

IDF: intensidad, duración, frecuencia

INETER: instituto nicaragüense de estudios territoriales

Ip: índice de pendiente

Kf: factor de forma

km: kilómetros

km²: kilómetros cuadrados

Lr: longitud de río.

m: metros

P: perímetro de la cuenca

SC: sub-cuenca

Tc: tiempo de concentración

TR: tiempo de retorno

T_{LAG}: tiempo de retado

Resumen

En el presente trabajo de investigación se realizó un estudio hidrológico, para poder conocer el caudal que fluye en la micro cuenca “San Isidro Libertador”. Primero se delimito la micro cuenca, para luego determinar cada una de sus características; una vez alcanzado este objetivo se procedió a identificar los parámetros hidrológicos, en donde se presenta la división de 3 micro cuencas, con áreas de 7.27km^2 , 7.15km^2 y 1.18km^2 respectivamente.

Finalmente se realiza una modelación hidrológica de la micro cuenca en estudio, con ayuda del programa HMS en dos escenarios (actual y futuro a 25 años), y así poder obtener el caudal para cada uno. Para el escenario actual se obtuvo un caudal de $97.7\text{m}^3/\text{s}$, para el futuro el caudal es de $162.6\text{m}^3/\text{s}$, de lo cual se puede decir que habrá un incremento porcentual del 66%.

Alcances y limitaciones

La Modelación Hidrológica para la micro cuenca San Isidro Libertador se realiza bajo 3 objetivos los cuales han sido cumplidos a lo largo del período de desarrollo del documento. Sin embargo, se describen algunas limitaciones desde el nivel académico en el que es realizado.

El estudio de la determinación de las características físicas de la micro cuenca San Isidro Libertador ha sido realizado en su totalidad bajo los conceptos básicos de la hidrología. Dentro del desarrollo de este objetivo también se encuentra una limitante, esta fue que no se pudo usar la estación RURD que es la más cercana al sitio en estudio, debido a que no le han dado el seguimiento adecuado para obtener datos históricos y en el momento de hacer una correlación adecuada entre estas dos estaciones para calcular datos faltantes, no se pudo ajustar la correlación ya que ambas estaciones no presentan el mismo comportamiento, por lo cual se seleccionó la estación Aeropuerto para la realización de este objetivo ya que tiene más datos históricos.

En la identificación de los parámetros hidrológicos se puede decir que éste se alcanzó satisfactoriamente, por lo cual se procedió a proponer un modelo hidrológico para la micro cuenca San Isidro Libertador.

El último objetivo propuesto para la elaboración de este documento ha sido el de comparar el caudal de los escenarios de una modelación actual y futura a 25 años, siguiendo como hipótesis el uso del suelo degradado de la micro cuenca.

CAPITULO I

GENERALIDADES

1. Capítulo 1: Aspectos Generales

1.1. Introducción

Nicaragua cuenta con 21 cuencas hidrográficas de las cuales, 13 drenan hacia la vertiente del Mar Caribe, abarcando un área estimada en 117,420 km², aproximadamente un 90% del territorio nacional. Las restantes drenan hacia la vertiente del Océano Pacífico, y cubren un área estimada de 12,183 km², aproximadamente el 10% del territorio nacional.

La cuenca sur de Managua parte de la cordillera o arco de las sierras de Managua, comienza en el lado oeste del complejo volcánico Volcán Masaya y termina en el lago Xolotlan (o de Managua), en la orilla oeste de la pequeña ciudad de Mateare. Dentro de la cuenca sur, se encuentra la micro cuenca San Isidro Libertador perteneciente al distrito 3. Geográficamente, limita al norte, con el distrito No. 2, al sur con el municipio de El Crucero, al Este con el distrito No. 4 y distrito No. 5, al oeste con el municipio de ciudad Sandino. Por su extensión es uno de los distritos más grandes del municipio de Managua, aproximadamente el 60% de su territorio es rural y el resto urbana. El distrito No. 3 está conformado por una parte que es urbana y tienen en su territorio las comarcas de Nejapa, Chiquilistagua, cedro Galan, San José de la Cañada, Pochocuape, San Isidro Libertador y Ticomo.

En el presente trabajo se realiza un estudio hidrológico de la micro cuenca San Isidro Libertador, caracterizándola físicamente, para luego proceder a encontrar el caudal en dos escenarios (actual y futuro) que fluye en la zona en estudio, usando el programa HMS el cual permite visualizar los resultados de las simulaciones en forma gráfica, tabulada y más expedita para el usuario. Este documento está estructurado en 6 capítulos, los cuáles abordan la temática del estudio. El capítulo 1 abarca los aspectos generales de dicho tema, el capítulo 2 contiene el desarrollo del trabajo, el capítulo 3 aborda el análisis de los resultados, el capítulo 4 abarca las conclusiones y recomendaciones de dicho trabajo, el capítulo 5 y 6 contienen la bibliografía y anexos respectivamente.

1.2. Antecedentes

En el año de 1983 fue construida la micro presa “San Isidro Libertador” con el propósito de regular las aguas pluviales producto de las precipitaciones provenientes de las sierras o sectores cercanos a esta. Al visitar la alcaldía del distrito III de Managua (ALMA) para obtener información concerniente al caudal y área de diseño, no se logró adquirir información alguna relacionada a la micro presa.

En el año 2013 estudiantes de la UNAN-Managua de la carrera Ingeniería Civil realizaron un estudio con fines académicos en dicho lugar; con la finalidad de proponer un rediseño hidráulico para la micro presa “San Isidro Libertador”, según su estudio hidrológico el caudal de diseño fue de $50\text{m}^3/\text{s}$.

1.3. Planteamiento del Problema

Hoy en día la deforestación es el principal factor que provoca el aumento de la escorrentía superficial debido a los sedimentos que llegan a bajar hacia las obras hidráulicas superando la capacidad de retener, almacenar o transportar las aguas pluviales provenientes de zonas altas provocando inundaciones que afectan no solo a la estructura vial sino también a los habitantes aledaños a la zona en estudio.

La micro presa San Isidro Libertador ubicada en el costado sur de la pista suburbana, sector de las colinas del memorial Sandino, es un ejemplo claro de la poca eficiencia que este presenta ante la escorrentía superficial producto de la deforestación en la parte alta de la micro cuenca, lo que ocasiona inundaciones alrededor de la obra .

1.4. Justificación

Con la realización del presente trabajo se pretende conocer el caudal que estará fluyendo en la micro cuenca San Isidro Libertador en dos escenarios (actual y futuro), y que este estudio pueda servirle a las autoridades de esta zona, para que incentiven a la población a darle un uso adecuado al suelo en la micro cuenca en estudio.

De acuerdo a lo antes expuesto, se pretende emplear el programa HMS, este incluye una interfaz gráfica para el usuario (*GUI*) que le permite introducir la información necesaria para una simulación, manejar los componentes de análisis hidrológico a través de módulos integrados, y obtener respuestas gráficas o tabuladas de fácil comprensión del modelo hidrológico.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo General.

- ✚ Modelar hidrológicamente la micro cuenca San Isidro Libertador usando el programa HMS.

1.5.2. Objetivos Específicos.

- ✚ Determinar las características físicas de la micro cuenca San Isidro Libertador.
- ✚ Identificar los parámetros para la modelación hidrológica de la micro cuenca con el programa HMS.
- ✚ Comparar el caudal en los escenarios de la modelación actual y futura a 25 años para la micro cuenca San Isidro Libertador.

1.6. Marco teórico

1.6.1. Generalidades.

Cuenca

Se entiende por cuenca a aquella depresión o forma que hace que el territorio valla perdiendo altura a medida que se acerca al nivel del mar. Las cuencas hidrográficas son aquellas que hacen que el agua que proviene de las montañas o del deshielo, descienda por la depresión hasta llegar al mar. En algunos casos, la cuenca puede no alcanzar el nivel del mar si se trata de un valle encerrado por montañas, en cuyo caso la formación acuífera será una laguna o lago.

Tipos de cuencas

Las cuencas hidrográficas pueden ser divididas en dos tipos principales: las cuencas endorreicas, que son aquellas que no llegan al mar, que tienen como resultado la formación de sistemas de agua estancada (como lagos o lagunas); y las cuencas exorreicas, aquellas que si llegan al mar y que por tanto no quedan encerradas entre los diferentes conjuntos de montañas. Normalmente las cuencas, tanto sean endorreicas o exorreicas pueden generar un gran número de afluentes que caen todos en el curso de agua principal, ya sea mar, océano, lago o laguna. Al mismo tiempo, a medida que esos afluentes se acercan a su destino final van perdiendo la intensidad original que tenían al comenzar su curso de descenso.



Figura 1. Partes de una cuenca.

Fuente: www.definicionabc.com. (2017). Partes de una cuenca. [online]
Recuperado de: <http://https://en.wikipedia.org> [Acceso 18 de Enero. 2017].

1.6.2. Características físicas de una cuenca.

1.6.2.1. Índice de compacidad (Gravelius):

La relación que existe entre el perímetro de la cuenca y el perímetro de una circunferencia, cuanto más irregular sea la cuenca mayor será su coeficiente de compacidad. Una cuenca circular tendrá un coeficiente de compacidad mínimo, igual a 1.

$$K_c = \frac{\text{Per.cuenca}}{\text{Per.circulo}} = 0.282 \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (\text{Ec.1})$$

Dónde:

P = Perímetro de la cuenca

A = Área de la cuenca.

1.6.2.2. Curva Hipsométrica:

Es una curva que indica el porcentaje de área de la cuenca, o bien la superficie de la cuenca en km^2 que existe por encima de una cota determinada.

Una curva hipsométrica con concavidad hacia arriba indica una cuenca con valles extensos y cumbres escarpadas y lo contrario indicara valles profundos y sabanas planas.

1.6.2.3. Pendiente media (S_m):

Relación que existe entre la altura del cauce principal (cota máxima menos cota mínima) y la longitud del mismo.

$$S_m = \frac{H_{max} - H_{min}}{L} \quad (\text{Ec.2})$$

1.6.2.4. Rectángulo equivalente:

El rectángulo de una cuenca es un rectángulo que tiene igual superficie, perímetro, coeficiente de compacidad y distribución hipsométrica de la cuenca en estudio.

$$L = \frac{P}{4} + \sqrt{\left(\frac{P}{4}\right)^2 - A} \quad \text{Lado mayor del rectángulo, (Ec.3)}$$

$$l = \frac{P}{4} - \sqrt{\left(\frac{P}{4}\right)^2 - A} \quad \text{Lado menor del rectángulo. (Ec.4)}$$

Dónde:

P = Perímetro de la cuenca

A = Área de la cuenca

1.6.2.5. Índice pendiente:

El índice de pendiente es el valor medio de las pendientes, se deduce del rectángulo equivalente y viene dado por la siguiente expresión:

$$I_P = \frac{1}{\sqrt{L}} \sum \sqrt{\frac{\Delta H * B}{1000}} \quad (\text{Ec.5})$$

Donde:

L= Longitud del lado mayor del rectángulo equivalente.

H= Diferencia de altitud entre dos curvas de nivel consecutivos.

B= Tanto por uno de las superficies comprendidas entre cada dos curvas de nivel consecutivas, respecto a la superficie total de la cuenca.

1.6.2.6. Altitud media:

La altitud media de la cuenca, se obtiene por medio de la siguiente expresión:

$$A_m = \frac{\sum H_i * S}{S_{total}} \quad (\text{Ec.6})$$

Donde:

S= Superficie entre dos curvas de nivel consecutivas. (Km²).

H= Altura media entre dos curvas de nivel consecutivas. (Km).

1.6.2.7. Orden de rio de la cuenca:

Es un número que refleja el grado de ramificación de la red de drenaje. La clasificación de los cauces de una cuenca se realiza a través de las siguientes premisas:

- Los cauces de primer orden son los que no tienen tributarios.
- Los cauces de segundo orden se forman en la unión de dos cauces de primer orden.
- Cuando un cauce se une con un cauce de orden mayor, el canal resultante hacia aguas abajo retiene el mayor de los órdenes.
- El orden de la cuenca es el mismo de su cauce principal a la salida.

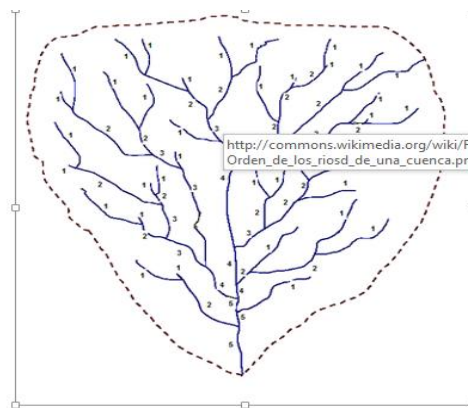


Figura 2. Orden de rio.

Fuente: Anon, (2017). Orden de rio. [online]
Recuperado en: <http://https:// en.wikipedia.org>
[Acceso 18 de Enero. 2017].

1.6.2.8. Densidad de drenaje (D):

Se define como la longitud total de los cursos de agua de la cuenca y su área total.

$$D = \frac{\sum L}{A} \quad (\text{Ec.7})$$

1.6.2.9. Curvas IDF

Las curvas IDF o de intensidad, duración y frecuencia es una relación matemática, generalmente empírica, entre la intensidad de una precipitación, su duración y la frecuencia con la que se observa.

Para obtener las curvas IDF se sigue el siguiente procedimiento:

1. Ordenar los datos de intensidades en orden decreciente:
2. Ordenar los datos de intensidades en orden decreciente:
3. Calcular el periodo de retorno (TR) con la siguiente ecuación:

$$TR = \frac{n + 1}{m}$$

Donde:

n= número total de datos.

m= número de orden.

4. Calcular la probabilidad empírica ($P(X > X_m)$) a través de la siguiente ecuación:

$$P(X > X_m) = \frac{1}{TR} = \frac{m}{n + 1}$$

(Ecu. Para calcular la probabilidad empírica).

$P(X \leq X_m) = 1 - P(X > X_m)$ (Ecuac. Para calcular la probabilidad teórica).

5. Calcular la media aritmética \bar{X} y la desviación estándar S_x de los datos de intensidades.
6. Calcular los parámetros α y β de la distribución de Gumbell con:

$$\alpha = \frac{1.281}{S_x}$$

$$\beta = X - 0.4506 Sx$$

Estos datos se calculan para la serie de intensidades de cada duración.

7. Plantear las ecuaciones de la distribución de Gumbell de cada duración o sea sustituir los parámetros α y β : para $d=5\text{min}$, $d=10\text{min}$, etc.
8. Con las ecuaciones anteriores calcular para cada duración de lluvia “d” y valor observado de lluvia I, la probabilidad teórica correspondiente $P(X \leq Xm)$.
9. Calcular la desviación máxima Δ_{\max} entre la probabilidad empírica y la teórica con:

$$\Delta = P_T - P_E$$

Donde:

P_T = Probabilidad teórica.

P_E = Probabilidad empírica.

10. Para cada duración de lluvia “d”, solo hay una Δ_{\max} , la cual se compara con Δ_0 crítico de Smirnov-Kolmogorov. Si $\Delta_{\max} \leq \Delta_0$ crítico se acepta el ajuste, de lo contrario se rechaza el ajuste y hay que buscar otra función teórica de probabilidad.
11. Proponer los periodos de retorno que nos interesan en el estudio de las IDF.

1.6.2.10. Tiempo de concentración.

El tiempo de concentración es el tiempo en que tarda el agua en pasar por el punto más alejado hasta la salida de la cuenca.

Para determinar el tiempo de concentración de una cuenca se utiliza la ecuación del PHC (Ecuación del Ing. Basso), el uso de esta ecuación ha sido ampliamente difundido en Centroamérica y especial en Nicaragua de acuerdo al reglamento de Drenaje Pluvial para el área de Managua.

$$T_C = 0.0041(K_t)^{0.77} \quad (\text{Ec.8})$$

$$K_t = 3.28 \frac{L_c}{\sqrt{S_c}} \quad (\text{Ec.9})$$

Dónde:

L_c = Longitud del río principal

S_c = Pendiente

T_c = Tiempo en minutos.

1.6.2.11. Tiempo de retardo.

El tiempo de retardo “Lag time” se definió por medio de la relación empírica en función del tiempo de concentración.

$$T_{LAG} = 0.35T_c \quad (\text{Ec.10})$$

Dónde:

T_{LAG} = Tiempo de retrado (minuto)

T_c = Tiempo de concentración (minuto)

1.6.2.12. Numero de curvas.

La selección del valor CN depende fundamentalmente de las características de la cuenca de drenaje; las cuales son: la condición antecedente de la humedad del suelo, uso de la tierra o cubierta y condiciones del suelo.

Tabla 1. Valor de CN según el servicio de conservación de suelos de los Estados Unidos.

Descripción del uso de tierra	A	B	C	D
*Tierra cultivada: Sin tratamiento de conservación	72	81	88	91
Con tratamiento de conservación	62	71	78	81
*Pastizales: Condiciones pobres	68	79	86	89
Condiciones optimas	39	61	74	80
*Vegas de rio: Condiciones optimas	30	58	71	78
*Bosques: troncos delgados, cubiertas pobre, sin hiervas	45	66	77	83
*Áreas abiertas, césped, parques, campos de golf, cementerios, etc.				
*Óptimas condiciones: cubiertas de pasto en 75% o mas	39	61	74	80
*Aceptables condiciones: Cubiertas de pastos en el 50% al 75%	49	69	79	84
*Áreas comerciales de negocios (85% impermeables)	89	92	94	95
*Distritos industriales (72% impermeables)	81	88	91	93
*Residencial:				
Tamaño promedio del lote				
1/8 acre o menos	77	85	90	92
1/4 acre	61	75	83	87
1/3 acre	57	72	81	86
1/2 acre	54	70	80	85
1 acre	51	68	79	84
*Calles y carreteras:				
Pavimentos con cunetas y alcantarillas	98	98	98	98
Grava	76	85	89	91
Tierra	71	82	87	89

Fuente: S. Nania, Universidad de Granada, 2007.

Dónde:

A: Arena con poco limo y arcilla; suelos muy permeables.

B: Arenas finas y limos.

C: Arenas muy finas, limos, suelos con alto contenido de arcilla.

D: Suelos muy impermeables.

1.1.1. HMS.

El programa HMS ha sido desarrollado por el *U.S. Army Corps of Engineers*, de los Estados Unidos, y es uno de los modelos hidrológicos más utilizados en la modelización hidrológica.

El programa se descarga gratuitamente de la siguiente web www.hec.usace.army.mil, donde se puede de igual forma descargarse el manual de usuario, el manual de referencia técnica y una serie de ejemplos de aplicación.

El HMS (Hydrologic Modeling System), es un programa de simulación hidrológica tipo *evento, lineal y semi distribuido*, desarrollado para estimar las hidrógrafas de salida en una cuenca o varias *sub-cuencas* (caudales máximos y tiempos al pico) a partir de condiciones extremas de lluvias, aplicando para ello algunos de los métodos de cálculo de histogramas de diseño, pérdidas por infiltración, flujo base y conversión en escorrentía directa que han alcanzado cierta popularidad en los Estados Unidos y por extensión en nuestro país.

- ✚ Un método de transformación lineal de la escorrentía (basado en una modificación del Hidrograma unitario de Clark) que puede utilizarse en una representación de la cuenca a través de celdas, con datos distribuidos de precipitación obtenidos por ejemplo de registros de radar (una opción tecnológica que no tiene aún aplicación en nuestro país).
- ✚ Una opción de pérdida distribuida de humedad en suelos que aplica el mismo principio de las celdas y puede utilizarse en simulaciones sobre períodos largos (de días o meses).

¿Cómo funciona HMS?

El programa incluye una interfaz gráfica para el usuario (GUI) que le permite introducir la información necesaria para una simulación, manejar los componentes de análisis hidrológico a través de módulos integrados, y obtener respuestas gráficas o tabuladas de fácil

comprensión e impresión. El documento de ayuda incorporado en el programa aclara la utilización de las opciones del programa.

Los archivos de extensión DSS (Data Storage System) se utilizan para almacenar y trabajar con series de tiempo, funciones emparejadas y datos de grilla en una forma muy transparente para el usuario.

Para definir la estructura de las cuencas, el programa considera los siguientes elementos (ver las indicaciones de la ayuda del programa):

1. Sub-cuencas (subbasins)
2. Tramos de tránsito (routing reach)
3. Uniones (junctions)
4. Embalses (reservoirs)
5. Fuentes (Sources)
6. Sumideros (sinks)
7. Derivaciones (diversions)

Con estos siete componentes, el usuario puede elaborar una cuenca tan compleja como requiera el problema que está tratando y como permita la información de campo disponible. Si se cuenta con información digital de campo, el HMS incluye la opción de trabajar la cuenca con subdivisiones en grillas o celdas, cada una de las cuales almacena información pertinente respecto a la precipitación, área, pendientes y condición de humedad del suelo.

Los elementos anteriores se disponen en forma de redes dendríticas con un orden o secuencia lógica para realizar los cálculos desde las sub-cuencas que conforman las cabeceras aguas arriba hasta el punto de salida de todo el caudal aguas abajo. El usuario debe prestar atención a este criterio, ya que los cálculos siguen rigurosamente esta secuencia (por ejemplo si tienen en cuenta una derivación no pueden entregar las aguas derivadas en un punto aguas arriba, aunque técnicamente esto sea factible). Por tal motivo, el primer paso en la preparación de la información consiste en definir correctamente la estructura de la cuenca que se pretende simular.

El programa trabaja con tres módulos básicos que definen en su conjunto el proyecto de simulación de la cuenca:

- ✚ **Módulo de precipitación:** permite seleccionar uno de seis patrones de precipitación (tipos de hietogramas) del evento de tormenta que más se ajuste a las posibles condiciones de la cuenca, incluyendo la introducción manual de los datos de la lluvia de diseño (ver las indicaciones de la [ayuda del programa](#)).
- ✚ **Módulo de la cuenca:** permite la representación del sistema físico con los elementos antes citados, y la inclusión de las características morfo métricas y de condición del suelo para cada uno de ellos. Así, cada componente incluye la información necesaria para construir la hidrógrafa total de salida (ver las indicaciones de la [ayuda del programa](#)).
- ✚ **Módulo de control:** incluye las fechas de inicio y culminación de los datos de lluvia y caudal para la simulación (u optimización) y los intervalos de tiempo para realizar los cálculos (ver las indicaciones de la [ayuda del programa](#)).

Estos tres módulos deben definirse completamente antes de iniciar la simulación del programa.

Datos necesarios para la realizar una modelación con HMS.

Para calcular los caudales, se realiza un estudio hidrológico previo, en el cual se requiere determinar los datos y parámetros necesarios tales como:

- ✚ Esquema físico de la cuenca y datos asociados.
- ✚ Datos de precipitación.

1.2. Diseño Metodológico

1.2.1. Tipo de investigación

Basado en la problemática, este diseño metodológico es aplicado porque se realizara un modelo de pronóstico utilizando el software HMS, ya que servirá de información en un futuro para el cual se pretenda rediseñar el embalse existente de la micro presa San Isidro Libertador, reteniendo así la mayor cantidad posible de aguas que provengan de la parte alta de la cuenca, producto de las precipitaciones y que este no afecte a la población aledaña.

1.2.2. Población y muestra.

La población a considerar es el número de sub-cuencas localizadas en la ciudad de Managua. Conformado por las cuencas distribuidas por cada distrito.

El tipo de muestra está definido por la micro cuenca en estudio San Isidro Libertador.

1.2.3. Fuentes y técnicas de recopilación.

Fuentes primarias:

- ✚ Zona de estudio, visita al terreno para la toma de fotografías del lugar.
- ✚ INETER, para obtener curvas IDF y datos históricos.
- ✚ Oficina de Obras Municipales de la Alcaldía de Managua, para recopilar información de datos topográficos.

Fuentes secundarias:

- ✚ Biblioteca de la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (UNAN), para revidar y recopilar información de libros de Hidrología y documentos monográficos relacionados al tema.
- ✚ Internet, visitas a portales con información básica sobre temas hidrológicos.

1.2.4. Instrumento de recopilación de datos.

- ✚ Observación en sitio, para el estudio y evaluación del comportamiento hidrológico de la micro-cuenca.
- ✚ Análisis de bibliografía, selección de información y bibliografía de los parámetros hidrológicos.

CAPITULO II

DESARROLLO

2. Capitulo II: Desarrollo

2.1. Caracterización de la micro cuenca

2.1.1. Características generales del municipio de Managua.

- Macro y micro localización

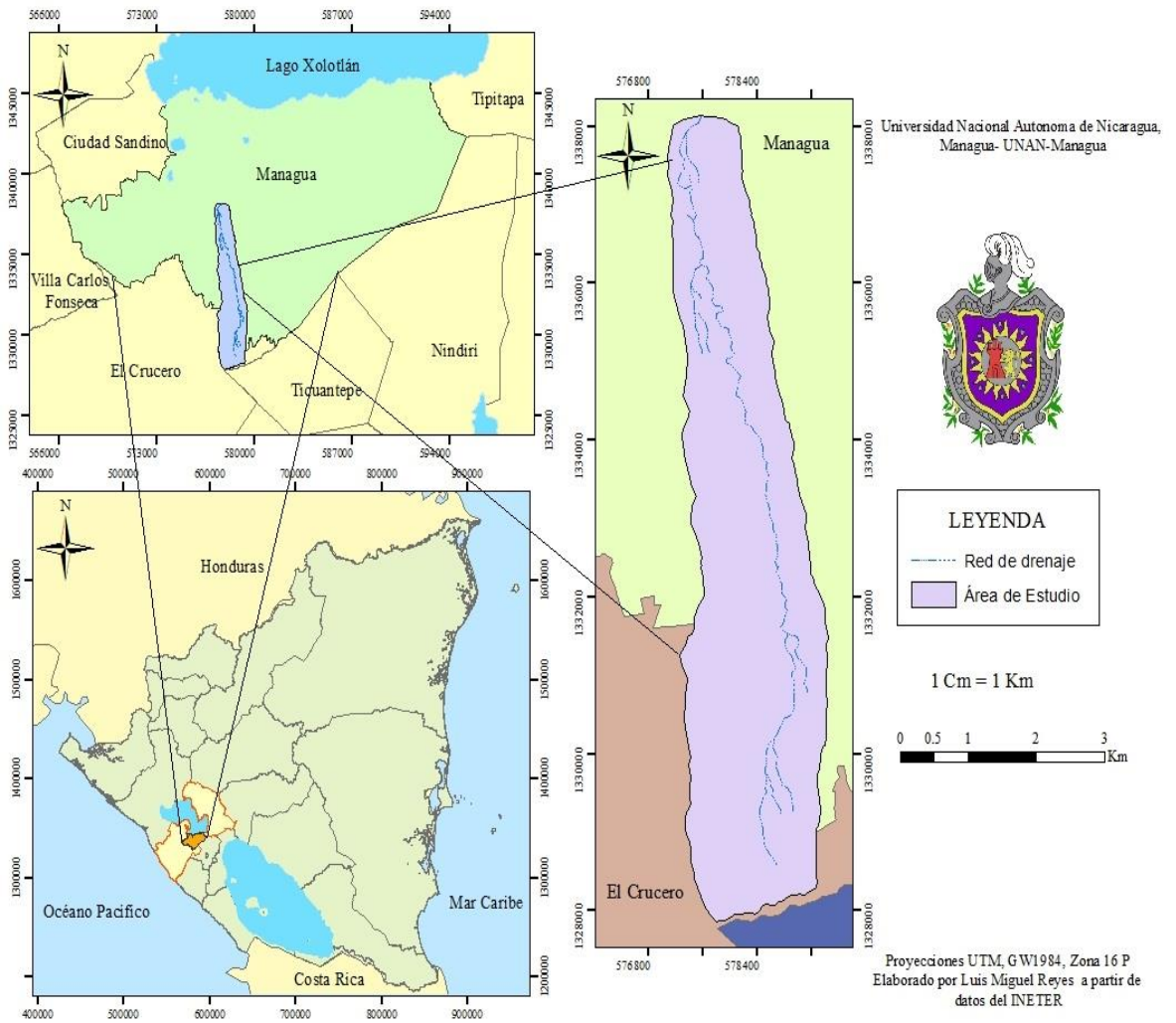


Figura 3. Macro y micro localización de Managua.
Fuente: Propia. Mendoza, J. y Tirado, D. (2017).

❖ **Datos Generales.**

Managua tiene su origen prehispánico en las riberas del Lago Xolotlán o Lago de Managua donde se asentaron sus primeros pobladores, una tribu nómada que encontró la más excelente morada que se hubieran podido imaginar. Su asentamiento se habría producido hace 15 a 10 mil años.

La ciudad de Managua fue fundada el 24 de Marzo de 1819 con el nombre de: “**Leal Villa de Santiago de Managua**”. En 1852 Managua se constituyó en Capital de la República con lo que se dio inicio a un proceso de centralización de actividades político-administrativas y económicas en la ciudad.

❖ **Límites del Municipio de Managua**

Norte: Lago Xolotlán.

Sur: Municipio del crucero.

Este: Municipio de Tipitapa, Nindirí y Ticuantepe.

Oeste: Municipio Villa Carlos Fonseca y Ciudad Sandino.

Ubicación:

Latitud Norte: 12°01' - 12°13'

Latitud Oeste: 86°07' - 86°23'

Superficie:

Superficie Municipal: 289 km²

Superficie del Área Urbana: 150.5 km²

Altitud:

Altitud Mínima: 43 metros sobre el nivel del mar.

Altitud Máxima: 700 metros sobre el nivel del mar.

Clima:

Clima tropical de sabana, caracterizado por una prolongada estación seca y por temperaturas altas todo el año, que van desde los 27° C a 34° C. La precipitación promedio en el municipio de Managua es de 1,125 milímetros de agua.

Temperatura Promedio: 27° C

Precipitación Anual: 1,100 – 1,600 mm

Humedad Relativa: 70.5%

Velocidad del Viento: 12 km/h

Relieve:

Principales características orográficas: Lago de Managua, Sierras de Managua, el Sistema de Cerros y Lagunas al Oeste de la ciudad entre ellos el Cerro San Carlos, Motastepe, Laguna de Asosca, Laguna de Nejapa y el Valle de Ticomo, a lo interno de la trama urbana se destaca la Laguna de Tiscapa ubicada en el Área Central.

Topografía:

Managua presenta una topografía inclinada hacia la costa del lago o banda norte, o una zona montañosa o de alturas que comprende: Las sierras de Managua, las sierritas de Santo Domingo y la península de Chiltepe.

División Político Administrativa:

El Municipio de Managua se divide en 7 Distritos, y cada delegación distrital es coordinada por un delegado representante del alcalde en el territorio. El municipio está conformado por 137 barrios, 94 residenciales, 134 urbanizaciones progresivas, 270 asentamientos humanos espontáneos y 21 comarcas.

2.1.2. Descripción del Distrito III de Managua.

❖ Aspectos Generales.

El Distrito Tres se encuentra localizado en la parte Suroccidental de la ciudad de Managua, gran parte de su territorio se encuentra en la cuenca de las Sierras de Managua, por la cual bajan las corrientes de agua pluvial atravesando el distrito de sur a norte. Se caracteriza por contar con una parte urbana ubicada al lado norte y una parte rural al lado sur, la que representa el 60% y donde se encuentran las comarcas de Nejapa, Chiquilistagua, Cedro Galán, San Isidro Libertador, Ticomo, San José de la Cañada, los Solano y Pochocuape. Es el Distrito más grande de la ciudad con una extensión de 125 Kilómetros cuadrados.

La constante deforestación, la eliminación de plantíos de café y el crecimiento de nuevas áreas han contribuido a la afectación del medio ambiente a una alta erosión y afectación de la Laguna de Nejapa. También la parte sur presenta problemas de deforestación el cual geomorfológicamente se caracteriza por fuertes pendientes que forman una barrera física para la expansión espacial de la ciudad, sumado a lo anterior la erosión severa existente en la cuenca sur de Managua.

❖ Límites:

Norte: Distrito II.

Sur: Municipio del crucero.

Este: Distrito IV y V.

Oeste: Municipio de Ciudad Sandino.

❖ Clima:

El Distrito se encuentra en un plano altitudinal comprendido entre los 100 y los 400 metros sobre el nivel del mar. Predomina un clima tropical que se caracteriza por la presencia de dos épocas bien marcadas en el año, la estación seca conocida como verano, tiempo durante el cual predomina un ambiente caluroso desarrollándose entre los meses de noviembre a abril y la estación húmeda o lluviosa que se desarrolla entre los meses de mayo y octubre, con un período canicular que dura cuatro semanas aproximadamente.

La temperatura promedio oscila entre 18 y 40 grados centígrados. La temperatura urbana promedio es de 27 grados centígrados.

2.1.3. Características físicas de la micro cuenca en estudio.

Área de la micro cuenca (A)

Es el área plana (proyección horizontal) incluida entre su divisoria topográfica.

El área total de la micro cuenca en estudio es de 15.60km².

Para llegar calcular esta área se hizo el siguiente procedimiento:

Se utilizó el programa ARCGIS para delimitar la micro cuenca San Isidro Libertador, para dicho programa se usó un mapa geodésico brindado por INETER y en él se trazó una poligonal para delimitar la micro cuenca, luego se dibujó una línea dentro de la poligonal en el que se trazó la red de drenaje, posterior a eso se calculó la longitud tanto de la rama principal como la de las ramas secundarias (comprendidas como red de drenaje), de igual manera se obtuvo el área y perímetro de la poligonal. El mismo programa detalla las curvas de nivel que se necesitan para la obtención del rectángulo equivalente.

Índice de Gravelius o coeficiente de compacidad (K_c)

Para el cálculo de K_c, se hace uso de la ecuación 1.

Cuanto más irregular sea la cuenca mayor será su coeficiente de compacidad. Una cuenca circular posee el coeficiente mínimo, igual a uno. Cuando el índice de Gravelius de la cuenca es mayor que uno significa que la cuenca no es redonda.

Al aplicar la ecuación antes descrita, se obtiene:

$$K_c = 0.282 \frac{23km}{\sqrt{15.60km^2}}$$

$$K_c = 1.64$$

Eso significa que la micro cuenca no es redonda ya que es mayor que 1.

Factor de forma (K_f)

Es la relación entre el ancho medio y la longitud axial de la cuenca, se mide cuando se sigue el curso de agua más largo desde la desembocadura hasta la cabecera más distante en la cuenca. El ancho medio B, se obtiene cuando se divide el área por la longitud axial de la cuenca.

Una cuenca con factor de forma bajo, esta menos sujeta a crecientes que otra del mismo tamaño pero con mayor factor de forma.

Al aplicar esta ecuación a la cuenca se obtiene:

$$K_f = \frac{15.6Km^2}{(11.30km)^2}$$

$$K_f = 0.122$$

Rectángulo equivalente

Para una área de 15.6 km², y un perímetro de 23 km, se tiene los lados del rectángulo equivalente haciendo uso de la ecuación 3 (expresión para encontrar L, longitud del lado mayor del rectángulo equivalente) y 4 (expresión para encontrar l, longitud del lado menor del rectángulo equivalente).

$$L_1 = \frac{23km + \sqrt{(23Km)^2 - 16 * (15.6Km^2)}}{4}$$

$$L_1 = 9.93Km$$

$$L_2 = \frac{23Km - \sqrt{(23Km)^2 - 16 * (15.6Km)}}{4}$$

$$L_2 = 1.57Km$$

Ver anexo imagen 2.

Índice de pendiente

Para encontrar el índice de pendiente se calculó cada uno de los parámetros necesarios referentes a la ecuación, para esto se hace uso de la herramienta de Excel. A continuación se presenta la tabla de resumen:

Tabla 2. Elevación, diferencia entre elevaciones y superficie comprendida entre cada dos elevaciones.

Elevación (m)	Ancho B	Diferencia de Elevaciones (H)	H*B	(H*B)/1000	Raíz de (H*B)/1000
219-440	0.359	221.00	79.339	0.079	0.282
440-595	0.312	155.00	48.360	0.048	0.220
595-740	0.267	145.00	38.715	0.039	0.197
740-780	0.06	40.00	2.400	0.002	0.049
Total					0.747

Fuente: Elaboración propia.

Sustituyendo la expresión anterior tenemos que:

$$I_p = \frac{1}{\sqrt{9.93}} (0.747)$$

$$I_p = 0.237$$

$$I_p = 0.237 * 100\%$$

$$I_p = 23.7\%$$

El 0.237 es el valor medio de las pendientes de la micro sub-cuenca aproximadamente.

Altitud media

A partir de la expresión (6), se obtiene la altitud media:

$$A_m = \frac{7878.500km^2 * m}{15.60km^2}$$

$$A_m = 505.03m$$

Pendiente media

Como orden de magnitud, se pueden admitir los siguientes valores de clasificación de terrenos en función de la pendiente media. Ver tabla 3.

Tabla 3. Clasificación de pendientes medias de terreno.

Pendiente media (%)	Terreno
2	Plano
5	Suave
10	Accidentado medio
15	Accidentado
25	Fuertemente accidentado
50	Escarpado
50	Muy escarpado

Fuente: Morena Ayestas, S. (1994). *Apuntes de hidrología de superficie*. Managua, Nicaragua. Universidad nacional de Ingeniería.

Para la micro cuenca en estudio, se pueden admitir los siguientes valores de clasificación de terrenos en función de la pendiente media.

$$I_{rio} = \frac{(780m - 219m)}{1000 * 11.5Km}$$

$$I_{rio} = 4.88\%$$

La pendiente media es de 4.88% y está entre el rango de 2% a 5%, por tanto el terreno tendrá un comportamiento plano.

Orden de rio

El orden de rio de la micro cuenca San Isidro es 1-2-3. (Ver anexo 3, plano 1).

Densidad de drenaje (Dd)

Dd usualmente toma valores entre 0.5km/km² para las cuencas con drenaje pobre hasta 3.5km/km² para cuencas bien drenadas.

Aplicando la ecuación (7), se obtiene que:

$$Dd = \frac{11.30Km}{15.6Km^2}$$

$$Dd = 0.72km/km^2$$

El drenaje de nuestra micro cuenca, con $L=11.30Km$ y $A=15.6Km^2$ es de $0.72 km/km^2$. Lo que indica que es pobremente drenada.

Curva Hipsométrica

La curva hipsométrica refleja el relieve desde la óptica de distribución de altitudes de la cuenca, con respecto al área de la misma. Es una curva que representa las superficies dominadas por encima de cada cota y por tanto caracteriza en cierta forma al relieve.

Para la elaboración de esta grafica se procedió a calcular el área entre dos elevaciones, su ancho, la superficie comprendida entre cada una de ellas y el porcentaje acumulado.

Tabla 4. Área, porcentaje acumulado y superficie comprendida entre dos curvas de la sub-cuenca.

Elevación (m)	Área entre curvas km^2 (S)	Ancho B	% superficie comprendida	% acumulado	H	HxS
219-440	5.60	0.359	35.90	35.90	329.5	1845.20
440-595	4.87	0.312	31.22	67.12	517.5	2520.23
595-740	4.17	0.267	26.73	93.85	667.5	2783.48
740-780	0.96	0.06	6.15	100.00	760.00	729.60
Total	15.60					7878.50

Fuente: Elaboración propia.

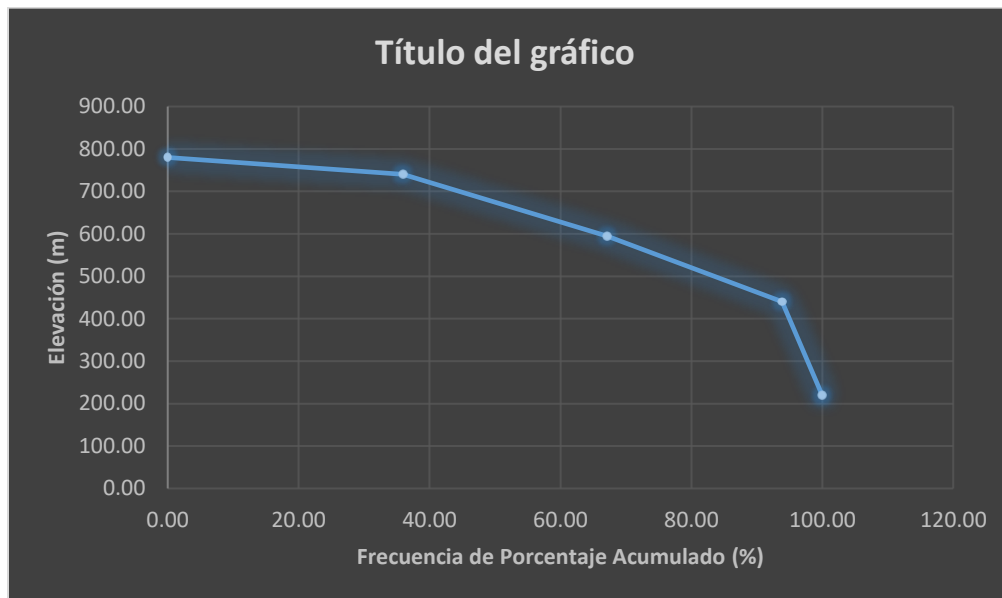


Gráfico 1. Representación de la curva Hipsométrica.
Fuente: Elaboración propia.

Curvas IDF

Las curvas IDF o de intensidad, duración y frecuencia es una relación matemática, generalmente empírica, entre la intensidad de una precipitación, su duración y la frecuencia con la que se observa. Para este estudio INETER facilitó las intensidades de la estación del aeropuerto.

Tabla 5. Datos de intensidades en orden decreciente.

Núm. Datos	5min	10min	15min	30min	60min	120min
1	240	204	160	140.8	95.1	67.9
2	238.8	180	159.6	112.8	93.5	66
3	230.4	178.2	158.4	110	90	65.6
4	230.4	172.8	153.6	106.4	77.7	62.7
5	212.4	168.8	134.4	101.6	77.3	58.9
6	212.4	164	125.2	100	77	48.1
7	200.4	154.2	123.2	99	76	45.8
8	200.4	151.8	121.2	93.2	69.8	44.7
9	199.2	150	120.8	92.4	67	42.7
10	198	142.2	120.8	90	66.5	39.5

“Modelación hidrológica para la micro cuenca San Isidro Libertador usando el programa HMS”.

11	187.2	141.6	120	89.2	64.2	37.3
12	180	137.4	119.2	89.2	63.8	34.3
13	178.8	134.4	119.2	88	63.2	33.6
14	177.6	130.8	118.4	85.4	57.7	32.8
15	165.6	125.6	118.4	84.8	55.8	32.7
16	163.2	125.4	114	84.4	54.3	30.9
17	158.4	124.8	114	82.2	52.1	30.6
18	155.6	123.6	113.6	79.2	51.2	30.2
19	153.6	122.4	113	77	49.3	30.2
20	151.2	121.8	110.4	76.8	49	29.3
21	151.2	120.7	109.6	76.6	47.1	29.2
22	150.1	120.6	108.4	76	47	29.1
23	150	120	108	72.4	46	27.2
24	150	120	106.4	69.6	44.7	27.1
25	142.8	120	104.8	69.4	44.4	26.8
26	133.2	118.8	98	69	43.5	24.5
27	132	118.8	98	68	43.1	23.3
28	132	118.2	95.6	66	42.4	23
29	126	118	94.4	64.8	41.8	23
30	126	116.4	92.8	64	41.7	22.8
31	126	115.2	90.8	64	41.6	22.7
32	126	114	90	62.8	40.8	21.5
33	124.8	112.8	88	62.5	39.3	21.2
34	124.8	111.6	88	62.4	36.9	19.8
35	123.6	111	87.2	60.6	36.7	18.5
36	123.6	111	86.8	59.6	36.4	18.1
37	123.6	109.8	84	59	35.4	18.1
38	123.6	109.2	84	58.8	35.4	17.4
39	122.4	108.6	82.4	58.8	33.8	17.3
40	121.2	108	82	57.8	33.4	14.9
41	120	104.4	82	55.8	32.6	14.8
42	115.2	103.8	80.8	54.4	29.5	14.8
43	115.2	102	80.8	54.4	28.5	12.3
44	110.4	101.4	74.8	53.4	25.2	11
45	106.2	86.4	72.4	36.4	22.9	8.9

Tabla 6. Periodo de Retorno

TR						
Años	5 min	10 min	15 min	30 min	60 min	120 min
5	183.959	145.487	123.117	90.715	64.292	41.407
10	206.453	159.808	136.361	102.341	75.001	50.303
20	228.030	173.545	149.066	113.493	85.274	58.836
25	234.874	177.902	153.096	117.031	88.532	61.542

Curvas IDF

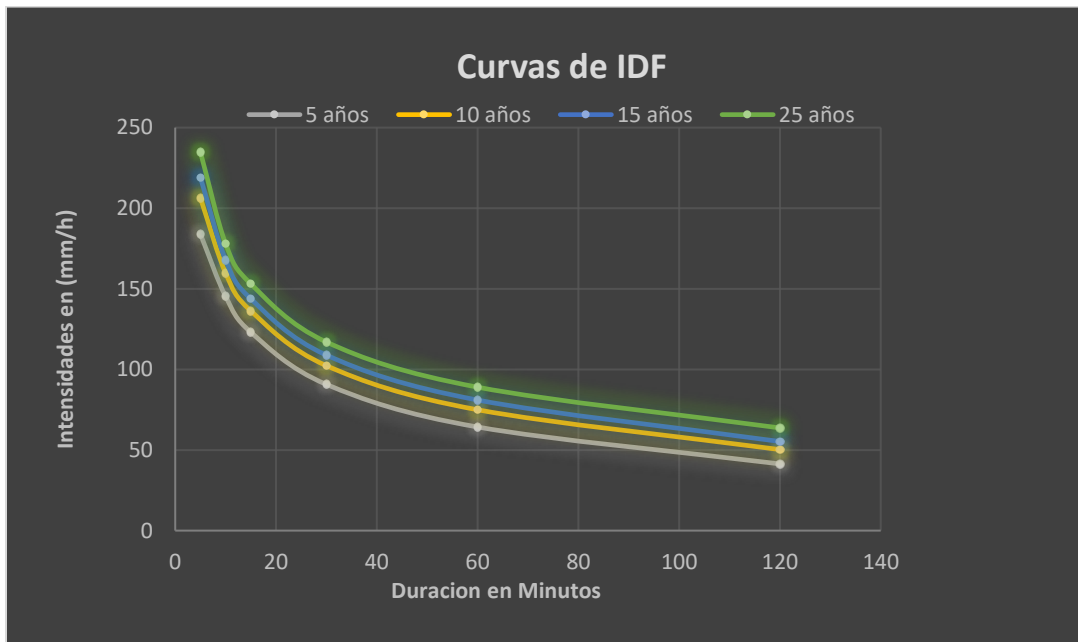


Gráfico 2. Representación de la curva IDF.

Fuente: Elaboración propia. (2017).

En el gráfico 2, se analiza la micro cuenca San Isidro Libertador considerando un periodo de retorno de 25 años tanto para la modelación actual y futura. De lo cual se puede decir que la intensidad máxima es de 234.874 mm/h para ambos escenarios.

2.2. Identificación de los parámetros hidrológicos

Para la aplicación del modelo HMS surge la necesidad de identificar los parámetros hidrológicos:

2.2.1. Tiempo de concentración.

Para determinar nuestro tiempo de concentración se utilizó la expresión 8.

Debido a que en la modelación la micro-cuenca en estudio se sub divide en 3, entonces se obtendrán 3 tiempos de concentración. A continuación se presenta una tabla con la información correspondiente de la sub división de la micro cuenca.

Tabla 7. Clasificación de la micro cuenca, área y longitud de río.

Micro Cuenca	Área (Km ²)	Longitud de río (Km)
1	7.27	3.59
2	7.15	5.65
3	1.18	2.06

Fuente: Elaboración propia.

Para encontrar las pendientes de las micro cuencas se utilizó la expresión 2. A continuación se presentan los cálculos de pendientes para cada una de las micro cuencas:

Micro cuenca 1:

$$H_M = 840m$$

$$H_m = 540m$$

$$S_c = \frac{840m - 540m}{1000 * 3.59Km}$$

$$S_c = 0.084$$

Micro cuenca 2:

$$H_M = 540m$$

$$H_m = 310m$$

$$S_c = \frac{540m - 310m}{1000 * 5.65Km}$$

$$S_c = 0.041$$

Micro cuenca 3:

$$H_M = 310m$$

$$H_m = 219m$$

$$S_c = \frac{310m - 219m}{1000 * 2.06Km}$$

$$S_c = 0.044$$

Para calcular el tiempo de concentración se utilizaron las ecuaciones 8 y 9 respectivamente.

Tiempo de concentración para la micro cuenca 1:

$$K_t = 3.28 \frac{3590m}{\sqrt{0.084}}$$

$$K_t = 40628.30$$

$$T_C = 0.0041(40628.30)^{0.77}$$

$$T_C = 14.507min$$

Tiempo de concentración para la micro cuenca 2:

$$K_t = 3.28 \frac{5650m}{\sqrt{0.041}}$$

$$K_t = 91523.02$$

$$T_C = 0.0041(91523.02)^{0.77}$$

$$T_C = 27.112min$$

Tiempo de concentración para la micro cuenca 3:

$$K_t = 3.28 \frac{2060m}{\sqrt{0.044}}$$

$$K_t = 105654.64$$

$$T_C = 0.0041(105654.64)^{0.77}$$

$$T_C = 30.282min$$

Para encontrar el tiempo de retardo se utilizó la expresión 10.

Tiempo de retardo para la micro cuenca 1:

$$T_{LAG} = 0.35 * 14.507min$$

$$T_{LAG} = 5.077min$$

Tiempo de retardo para la micro cuenca 2:

$$T_{LAG} = 0.35 * 27.112min$$

$$T_{LAG} = 9.489min$$

Tiempo de retardo para la micro cuenca 3:

$$T_{LAG} = 0.35 * 30.282min$$

$$T_{LAG} = 10.599min$$

A continuación se presenta una tabla de resumen con las características fisiográficas correspondientes a las micro cuencas en estudio.

Tabla 8. Características fisiográficas de las 3 micro cuencas en estudio.

Micro cuencas	Área (km ²)	Longitud de río (km)	Hmax (m)	Hmin (m)	Pendiente	T _c (min)	Lag time (min)
1	7.27	3.59	840	540	0.084	14.507	5.077
2	7.15	5.65	540	310	0.041	27.112	9.489
3	1.18	2.06	310	219	0.044	30.282	10.599

Fuente: Elaboración Propia.

2.2.2. Parámetros K y X para tránsito de caudales.

Para considerar el tránsito de caudales a lo largo del río (método de propagación de hidrogramas), se aplica el método Muskingum, el cual considera los parámetros K y X. El parámetro K es el tiempo de transito de la onda de creciente a través de un tramo considerado. Para calcular este factor se promediaron los 3 tiempos de concentración multiplicado por un factor de 0.6.

$$K = \frac{(T_{C1} + T_{C2} + T_{C3})}{3} * 0.6$$

$$K = \frac{(14.507min + 27.112min + 30.282min)}{3} * 0.6$$

$$K = 14.380min$$

$$K = 0.24 \text{ hora}$$

El parámetro X es el factor de peso. Este factor varía entre 0 y 0.5 y depende de la pendiente media del tramo, a más pendiente más alta será la X. En ríos muy caudalosos y de baja pendiente, X suele ser próximo a 0 y será más cercano a 0.5 cuanto más pendiente y menos caudal tenga el río. En el caso en estudio se seleccionó un valor de 0.2 en razón a las características de pendiente.

En la siguiente tabla se muestra los parámetros que se utilizaron para la modelación HMS.

Tabla 9. Parámetros para la modelación en el Modelo HMS.

Micro cuencas	Área (Km ²)	Lag time (min)	CN	K (Hora)	X
1	7.27	5.077	80	0.24	0.2
2	7.15	9.489	80	0.24	0.2
3	1.18	10.599	77	0.24	0.2

Fuente: Propia.

El esquema de la división de la micro cuenca (ver en anexos plano 2). La selección del número de curvas para cada micro cuenca esta seleccionada en dependencia del uso de suelo que hay en cada una. Para la micro cuenca 1 y 2 se usa un número de curvas de 80, debido a que en estas áreas hay pastizales con condiciones óptimas. En la micro cuenca 3 se seleccionó un número de curvas de 77, ya que esta se encuentra en la zona del residencial: Colinas del Memorial Sandino.

2.2.3. Modelación Hidrológica- Modelo HMS.

La aplicación del modelo HEC-HMS para un proyecto determinado comprende 4 etapas básicas; las cuales son: la creación de un modelo de cuenca, la creación de un modelo meteorológico, la definición de unas especificaciones de control y finalmente la etapa de simulación y resultados.

- Modelo de la micro-cuenca

El modelo de la cuenca es utilizado para representar la parte física de la cuenca. En este componente se definen los elementos de hidrológicos del sistema; la cuenca san isidro obtiene una esquematización total de 3 sub-cuencas, 1 tramo de corriente, 3 uniones de corrientes y un punto de entrega. Definidos los elementos de la red hídrica, se ingresa la información de cada sub-cuenca, específicamente se define en orden de ejecución, el método de estimación de perdidas (Method of estimating losses), el método de transformación lluvia-caudal (Rain-caudal transformation method) y el método de determinación flujo base (Base flow determination method).

En el proceso de transformación lluvia neta se aplicó el **Método Hidrograma Unitario SCS** y en el proceso de infiltración o pérdidas (todo lo que llueve en las sub-cuencas, cuánto se pierde por infiltración, evaporación o percolación) se aplicó el **Método Numero de Curvas SCS**, el número de curvas (80, 80 y 77 respectivamente para las micro cuencas) se obtuvo a través de la tabla proporcionada por el servicio de conservación de suelos de los Estados Unidos (ver tabla 6). Luego se procedió a ingresar los parámetros correspondientes al tramo de corriente en función del método seleccionado, en este estudio se seleccionó el método de tránsito de Muskingum.

La figura ilustra la esquematización de la cuenca San Isidro en HMS, además incluye las sub-cuencas y el tramo del tránsito de avenidas.

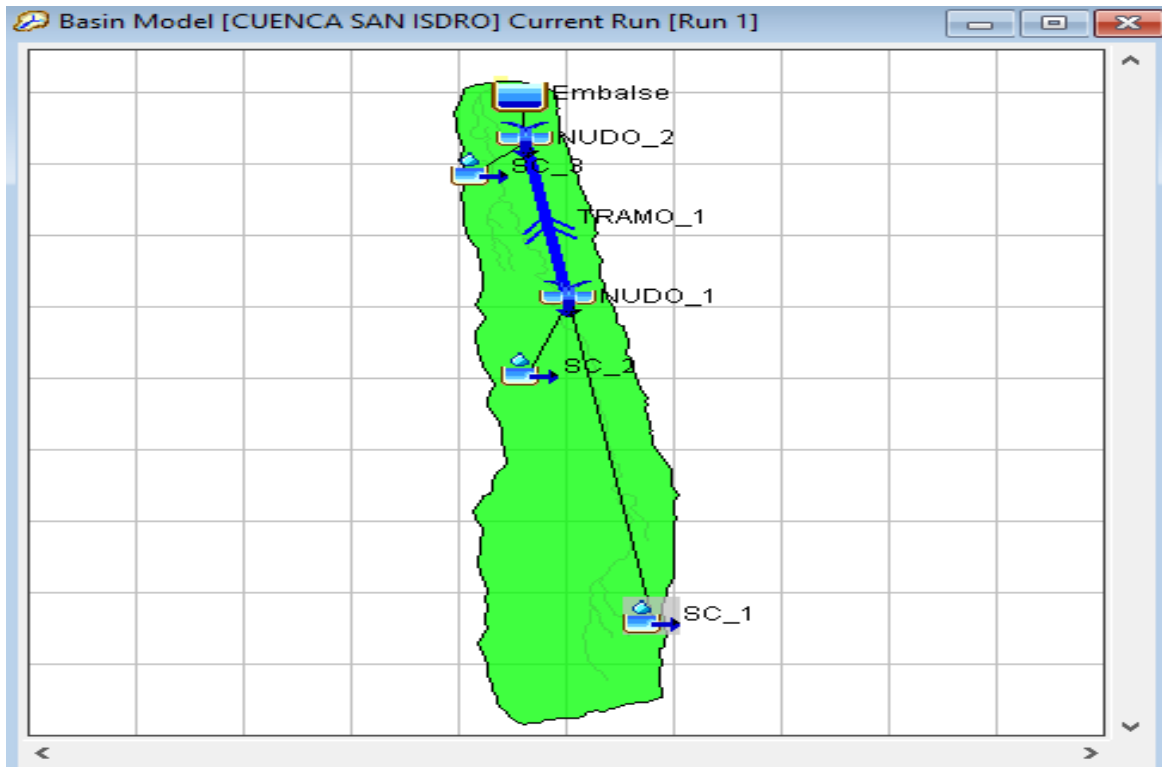


Figura 4. Esquematización de la Modelación Hidrológica de la micro cuenca San Isidro, ubicada en el distrito 3 de la Ciudad de Managua.

Fuente: Mendoza, J. y Tirado, D. (2017).

- **Modelo Meteorológico**

Antes de definir el modelo meteorológico se introduce los datos que corresponden al incremento de precipitación, para lo cual se utilizó el **Método de bloques alternos**, que definen un histograma a partir de curvas IDF para representar la distribución de la precipitación en una serie de intervalos temporales a lo largo de un tiempo en el que dura la lluvia de diseño.

Para estos datos se utilizó la información de curvas IDF, para un periodo de retorno de 25 años, con duraciones de 5 minutos a 120 minutos, se eligió una duración de 120 minutos porque las lluvias con mayores duraciones no producen aumento en los caudales punta.

El método de bloques alternos produce un pluviograma asociado a un periodo de retorno “T”, cuya duración “D” total es fraccionada en “n” intervalos de duración “ Δt ”.

Luego de seleccionar el periodo de retorno de 25 años, la intensidad en la curva de duración para cada una y la profundidad de precipitaciones se encuentra en multiplicar la intensidad por la duración. Tomando diferencias entre valores sucesivos de profundidad de precipitación, se encuentra la cantidad de precipitación que puede añadirse por cada tiempo adicional Δt . Estos incrementos o bloques reordenan en una secuencia temporal de modo que la intensidad máxima ocurra en el centro de la duración requerida y que los demás bloques queden en orden descendente alternativamente hacia la derecha y hacia la izquierda del bloque central para conformar el histograma de diseño. En la siguiente tabla se presenta la tormenta de diseño a través del método de bloques alternos.

Tabla 10. Tormenta de diseño para un periodo de retorno de 25 años.

Tormenta de Diseño para un periodo de retorno de 25 años.						
Duración (minuto)	Intensidad (mm/h)	Profundidad Acumulada (mm)	Profundidad (mm)	Bloque Interno	Tiempo	
5	234.874	9.79	9.79	1174.8	0 a 5	0.6
10	177.902	14.83	5.04	604.65	5 a 10	0.97
15	153.096	19.14	4.31	517.42	10 a 15	1.35
20	141.074	23.51	4.38	525.04	15 a 20	1.53
25	129.053	26.89	3.37	404.845	20 a 25	1.91
30	117.031	29.26	2.37	284.605	25 a 30	2.1
35	112.281	32.75	3.49	418.905	30 a 35	2.3
40	107.531	35.84	3.10	371.405	35 a 40	2.47
45	102.782	38.54	2.70	323.95	40 a 45	3.1
50	98.032	40.85	2.30	276.41	45 a 50	3.49
55	93.282	42.75	1.91	228.91	50 a 55	4.38
60	88.532	44.27	1.51	181.41	55 a 60	9.79
65	86.282	46.74	2.47	296.41	60 a 65	5.04
70	84.034	49.02	2.28	274.05	65 a 70	4.31
75	81.785	51.12	2.10	251.495	70 a 75	3.37
80	79.535	53.02	1.91	228.925	75 a 80	2.7
85	77.286	54.74	1.72	206.51	80 a 85	2.37
90	75.037	56.28	1.53	184.02	85 a 90	2.28
95	72.788	57.62	1.35	161.53	90 a 95	1.91
100	70.539	58.78	1.16	139.04	95 a 100	1.72
105	68.29	59.75	0.97	116.55	100 a 105	1.51
110	66.04	60.54	0.78	93.95	105 a 110	1.16
115	63.791	61.13	0.60	71.565	110 a 115	0.78
120	61.542	61.54	0.41	49.075	115 a 120	0.41

Fuente: Propia.

El Hietograma de diseño se generó para una tormenta con una duración de 120 minutos para un periodo de retorno de 25 años, además se determinaron los incrementos cada 5 minutos.

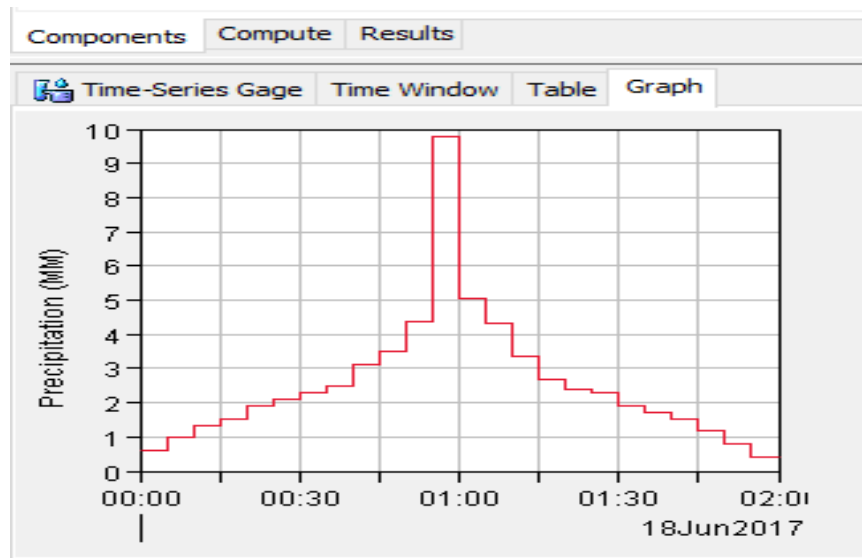
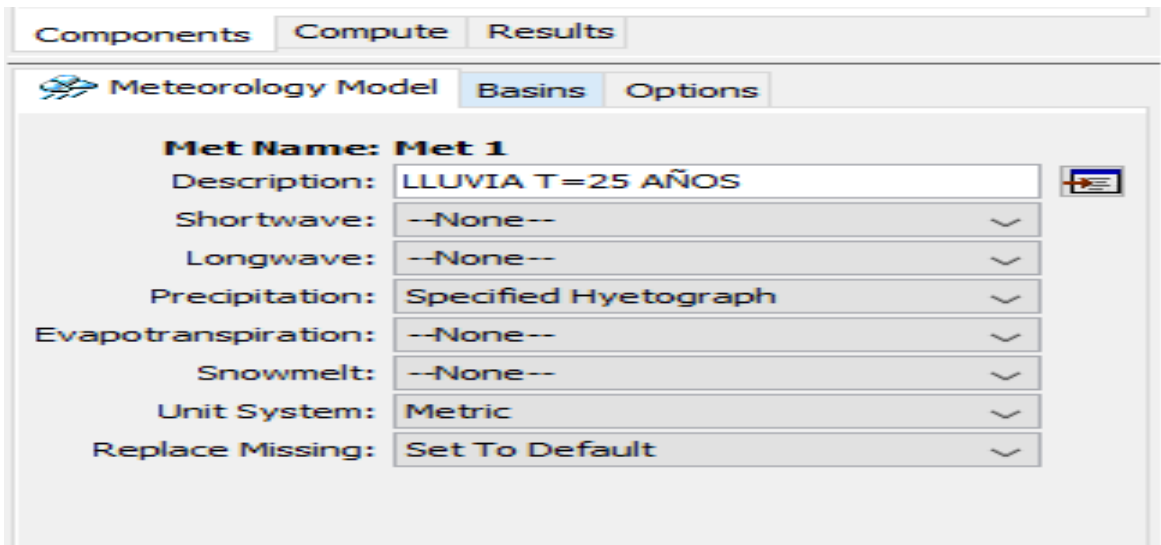


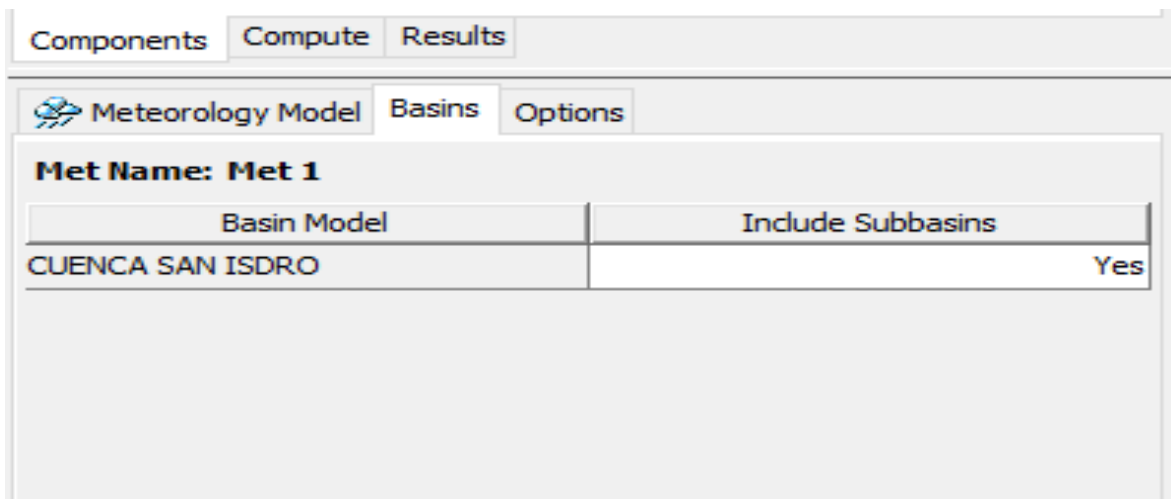
Grafico 3. Esquematización de la tormenta de proyecto.
Fuente: Propia.

- Creación del Modelo Meteorológico

Este modelo consiste en definir cuál modelo de cuenca requiere precipitación del modelo meteorológico. Se abre el editor de componentes para modelo meteorológico, en la pestaña **Basins** y se selecciona **Yes** para incluir a un modelo de cuenca la precipitación del modelo meteorológico. Todas las sub-cuencas incluidas también en ese modelo de cuencas serán agregadas al modelo meteorológico una vez definida la precipitación.



*Figura 5. Pantalla de editor de componentes del Modelo Meteorológico.
Fuente: Propia. Mendoza, J. y Tirado, D. (2017).*

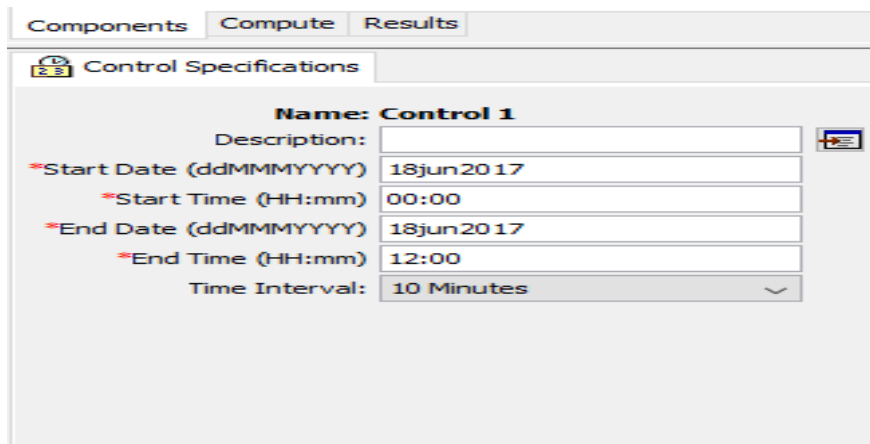


*Figura 6. Pantalla de editor de componentes del Modelo Meteorológico pantalla **Basins**, para agregar sub-cuencas que requieren datos del modelo.
Fuente: Propia. Mendoza, J. y Tirado, D. (2017).*

2.2.4. Especificaciones de Control.

Aquí se definen los periodos a simular, los tiempos de lluvia e intervalos. Una vez definido el modelo de cuenca y seleccionado un modelo meteorológico se puede realizar la modelación hidrológica para diferentes intervalos de tiempos o con diferentes incrementos. El editor de componentes para unas especificaciones de control requiere una fecha y hora de inicio y una fecha y hora de finalización así como un intervalo de tiempo. Los formatos deben introducirse como se observan en el editor de componentes. La mayoría de los cálculos para los métodos son realizados en ese intervalo de tiempo y los resultados se muestran siempre para el intervalo de tiempo aquí especificado. Las especificaciones de control de la cuenca San Isidro se realizó con una duración de intervalo de 15 minutos.

Elegir un intervalo de tiempo puede ser diferente al elegido, para la tormenta del proyecto. Este es el intervalo con el que se analizara la simulación al ingresar las fechas y hora de comienzo y fin del estudio (el estudio debe durar varias horas después de haber cesado de llover).



Control Specifications	
Name:	Control 1
Description:	
*Start Date (ddMMMYYYY)	18jun2017
*Start Time (HH:mm)	00:00
*End Date (ddMMMYYYY)	18jun2017
*End Time (HH:mm)	12:00
Time Interval:	10 Minutes

Figura 7. Pantalla de control de especificaciones temporales sobre la tormenta usada para correr el modelo de la cuenca San Isidro.

Fuente: Propia. Mendoza, J. y Tirado, D. (2017).

2.2.5. Simulación Hidrológica.

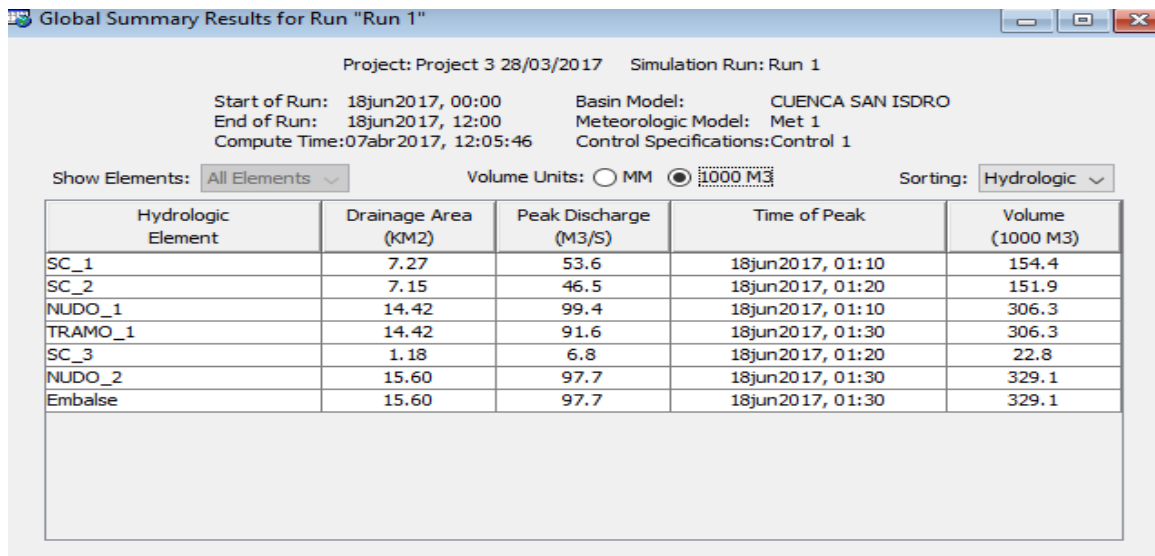
Para correr el modelo se marcan los componentes anteriores, el modelo de cuenca, el modelo meteorológico y las especificaciones de control deseadas, luego se procede a ejecutar el programa, a realizar cálculos y a generar resultados.

Una corrida de simulación es creada seleccionando **Compute-Run manager** desde la barra de menú, seleccionar la opción **New**, después de hacer click en new un asistente te guiará a través del proceso de creación de la simulación. Un nombre debe ser introducido, luego un modelo de cuenca, un modelo meteorológico y las especificaciones de control deben ser seleccionados. La nueva simulación es añadida a la pestaña “compute” en el explorador de cuencas. Vea que la pestaña compute tiene carpetas separadas para cada uno de los tipos de simulación que se puede realizar, simulación, optimización y análisis.

Para realizar la simulación se debe seleccionar **Compute-Select Run** desde el menú de opciones y escoger la simulación deseada. Para calcular la simulación se debe hacer click en **compute** y luego hacer click en **Compute Run** al final del menú.

- **Resultados de la Modelación Hidrológica**

Los resultados obtenidos en la modelación corresponden a un periodo de retorno de 25 años, seleccionando cada uno de los elementos hidrológicos y eligiendo la opción ver resultados, podemos visualizar los Hidrograma obtenidos en cada elemento.



Project: Project 3 28/03/2017 Simulation Run: Run 1

Start of Run: 18jun2017, 00:00 Basin Model: CUENCA SAN ISDRO
End of Run: 18jun2017, 12:00 Meteorologic Model: Met 1
Compute Time: 07abr2017, 12:05:46 Control Specifications: Control 1

Show Elements: All Elements Volume Units: MM 1000 M3 Sorting: Hydrologic

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (1000 M3)
SC_1	7.27	53.6	18jun2017, 01:10	154.4
SC_2	7.15	46.5	18jun2017, 01:20	151.9
NUDO_1	14.42	99.4	18jun2017, 01:10	306.3
TRAMO_1	14.42	91.6	18jun2017, 01:30	306.3
SC_3	1.18	6.8	18jun2017, 01:20	22.8
NUDO_2	15.60	97.7	18jun2017, 01:30	329.1
Embalse	15.60	97.7	18jun2017, 01:30	329.1

Figura 8. Resumen de los resultados del caudal punta y volumen de agua asociado a cada uno de los elementos hidrológicos.

Fuente: Propia. Mendoza, J. y Tirado, D. (2017).

- **Resultados de la micro cuenca 1**

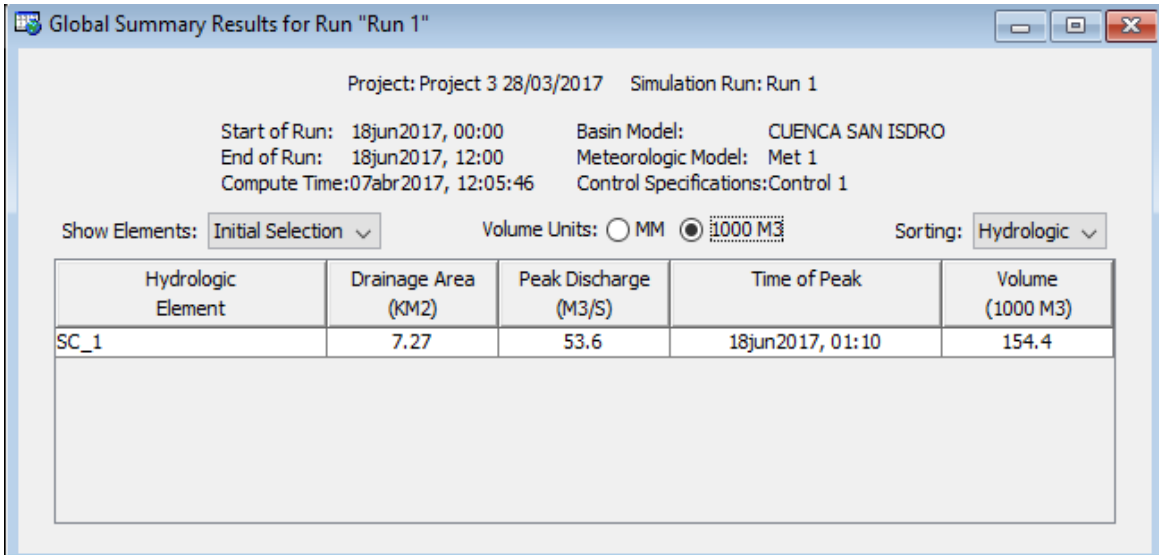


Figura 9. Resumen de resultados de la micro cuenca 1. (Caudal punta, precipitación total, lluvia neta en el suelo y lluvia neta).

Fuente: Propia. Mendoza, J. y Tirado, D. (2017).

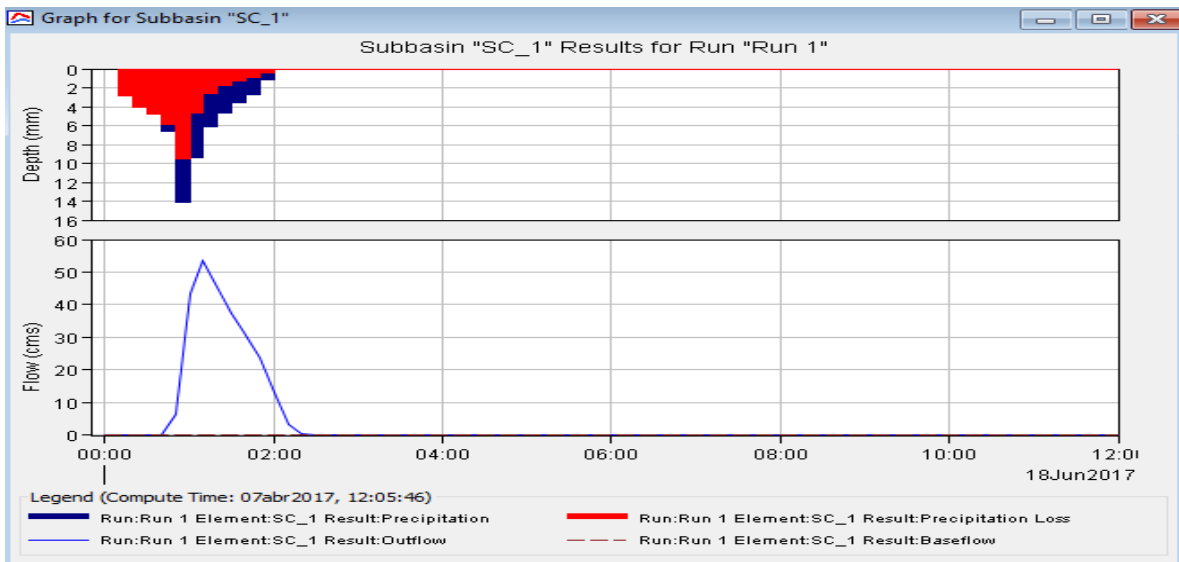


Grafico 4. Representación del Hietograma de la tormenta, micro cuenca 1.

Fuente: Propia.

- **Resultados de la micro cuenca 2**

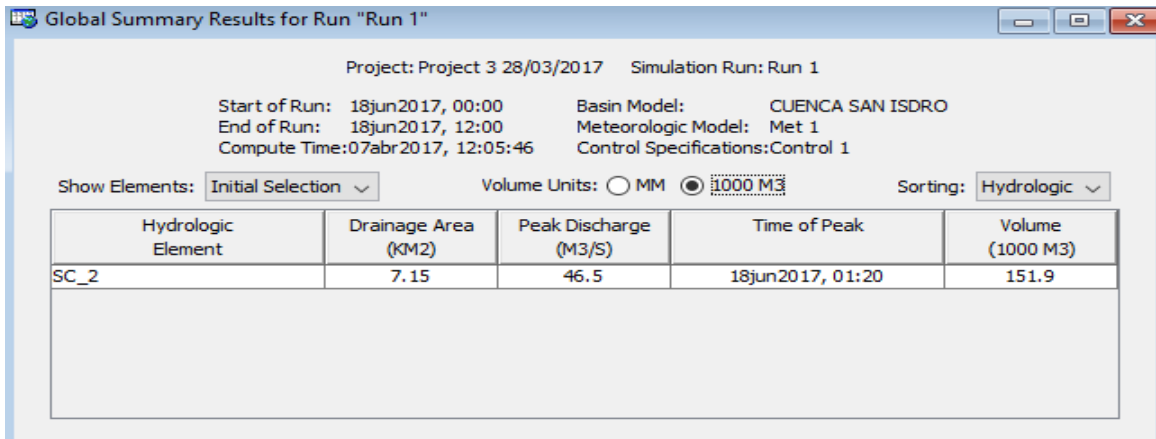


Figura 10. Resumen de resultados de la micro cuenca 2. (Caudal punta, precipitación total, lluvia neta en el suelo y lluvia neta).

Fuente: Propia. Mendoza, J. y Tirado, D. (2017).

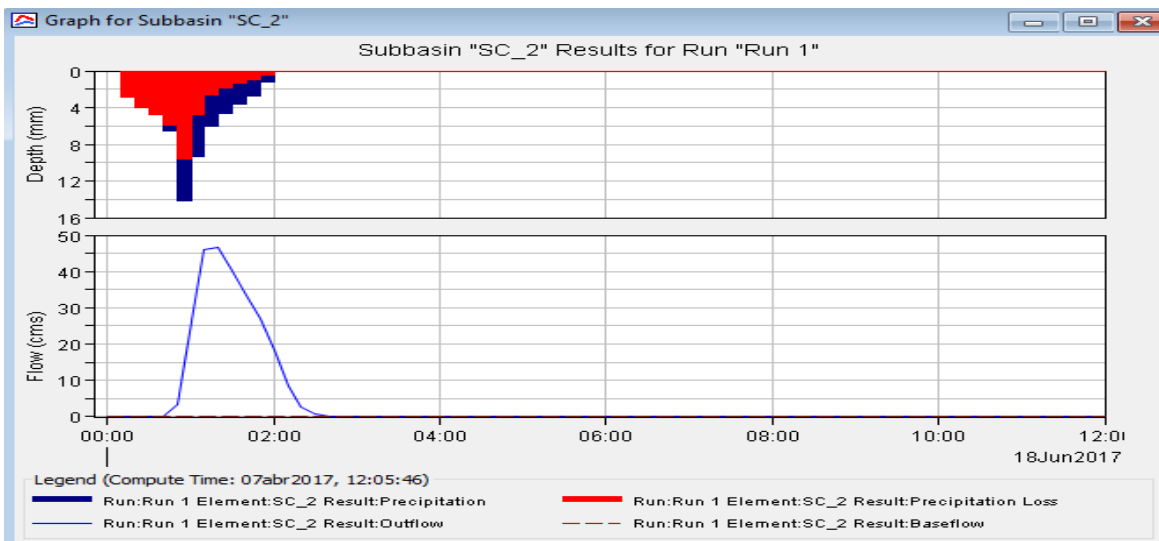


Grafico 5. Representación del Hietograma de la tormenta micro cuenca 2.

Fuente: Propia.

- **Resultados de la micro cuenca 3**



Figura 11. Resumen de resultados de la micro cuenca 3. (Caudal punta, precipitación total, lluvia neta en el suelo y lluvia neta).

Fuente: Propia. Mendoza, J. y Tirado, D. (2017).

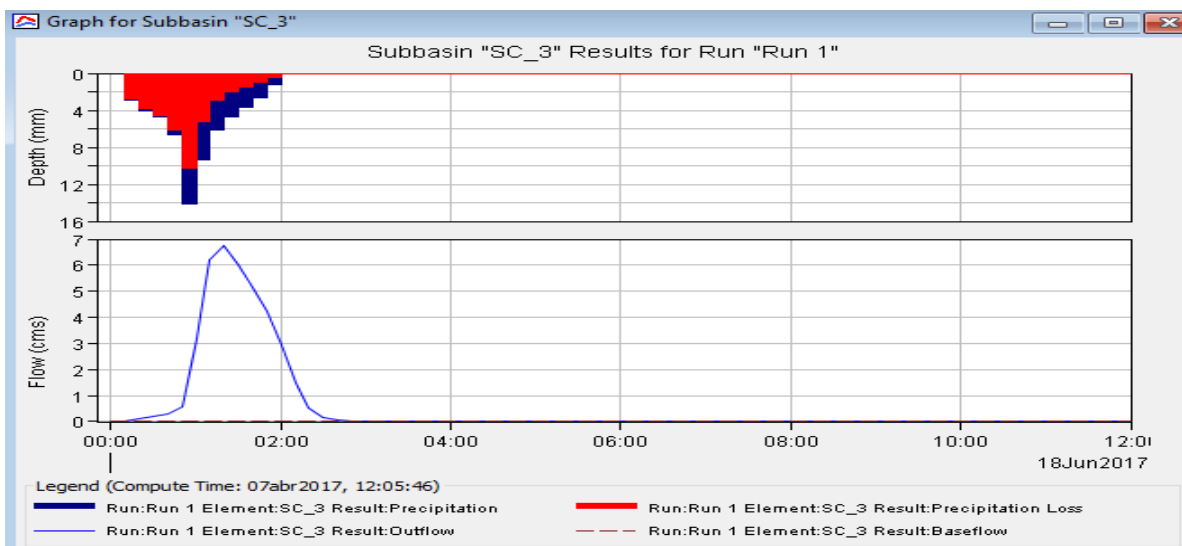


Grafico 6. Representación del Hietograma de la tormenta micro cuenca 3 .

Fuente: Propia.

En los gráficos 4, 5 y 6, el color rojo representa la cantidad de agua que se infiltró en el suelo de todo lo que llovió, y la parte azul, corresponde a lo que se convirtió en caudal en las micro cuencas. Estos también se representan a su vez en los gráficos que le siguen, al cual se le conoce como Hidrograma.

- **Resultados en el nodo 1**

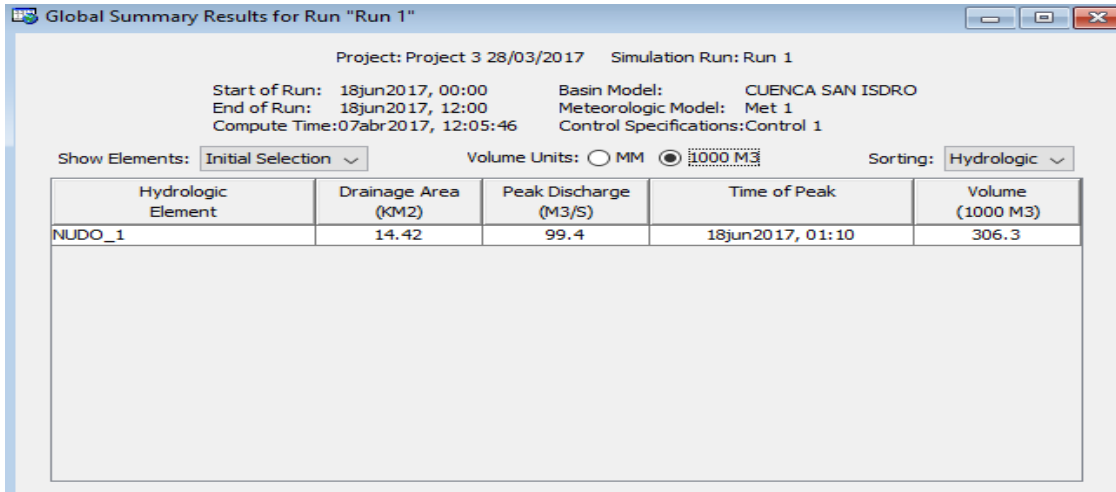


Figura 12. Resumen de resultados de la unión de corriente-1 (Caudal Punta).
Fuente: Propia. Mendoza, J. y Tirado, D. (2017).

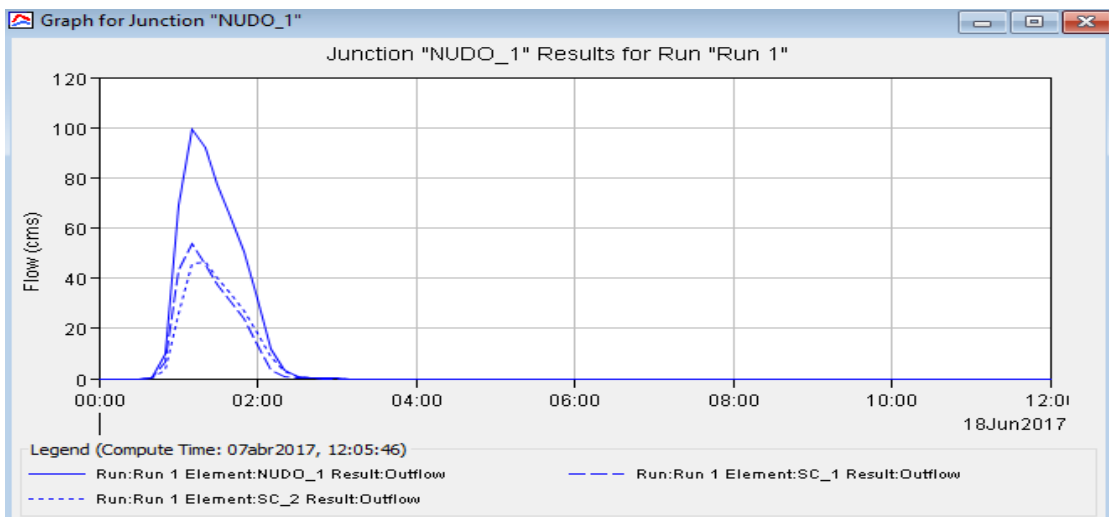


Gráfico 7. Hidrograma de la unión de corriente en el nudo 1..
Fuente: Propia.

- **Resultados en un tramo**

En el tramo de corriente se seleccionó el método de transito de Muskingum, entre los parámetros necesarios que se ingresaron fueron el tiempo de viaje (k), forma de almacenamiento (x) y numero de sub-tramos.

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (1000 M3)
TRAMO_1	14.42	91.6	18jun2017, 01:30	306.3

Figura 13. Resumen de resultados del tramo de corriente-1 (Caudal Punta).
Fuente: Propia. Mendoza, J. y Tirado, D. (2017).

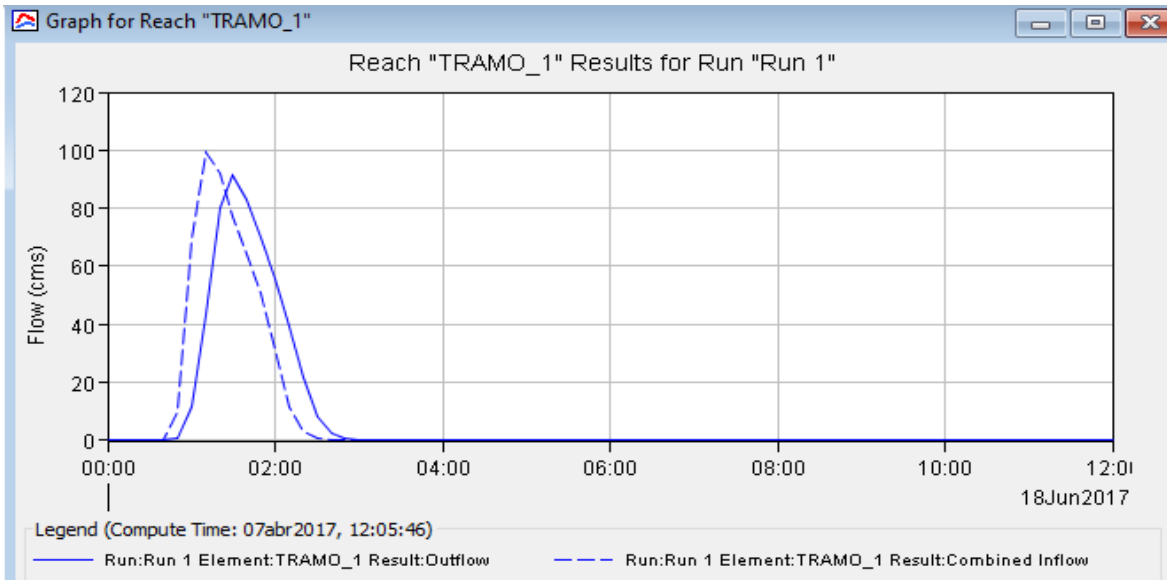


Grafico 8. Hidrograma del tramo de corriente-1 entre el nudo 1 y el nudo 2..
Fuente: Propia.

- **Resultados del nodo 2**

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (1000 M3)
NUDO_2	15.60	97.7	18jun2017, 01:30	329.1

Figura 14. Resumen de resultados de la unión de corriente-1 (Caudal Punta).
Fuente: Propia. Mendoza, J. y Tirado, D. (2017).

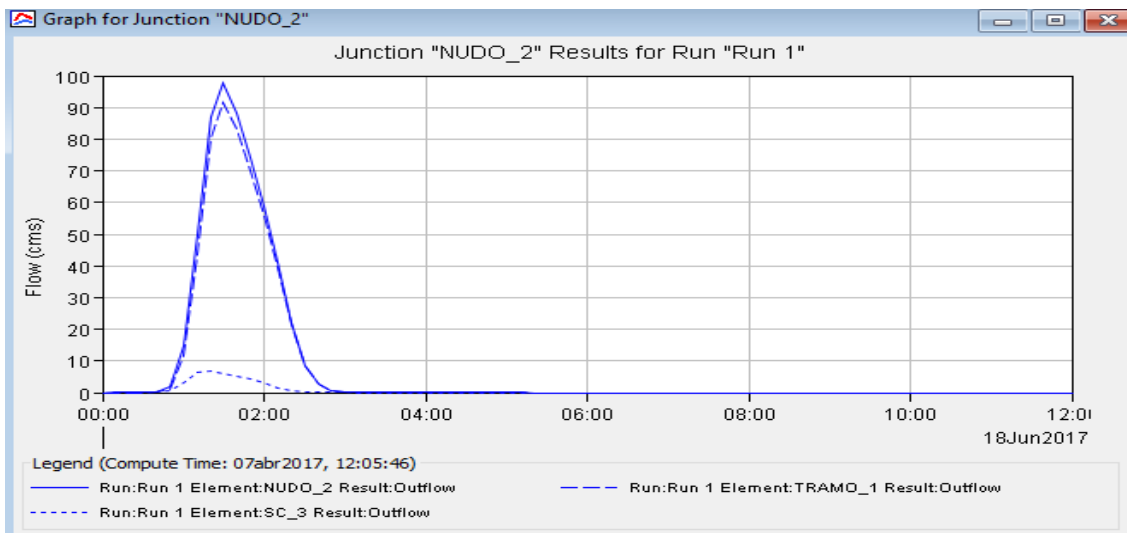
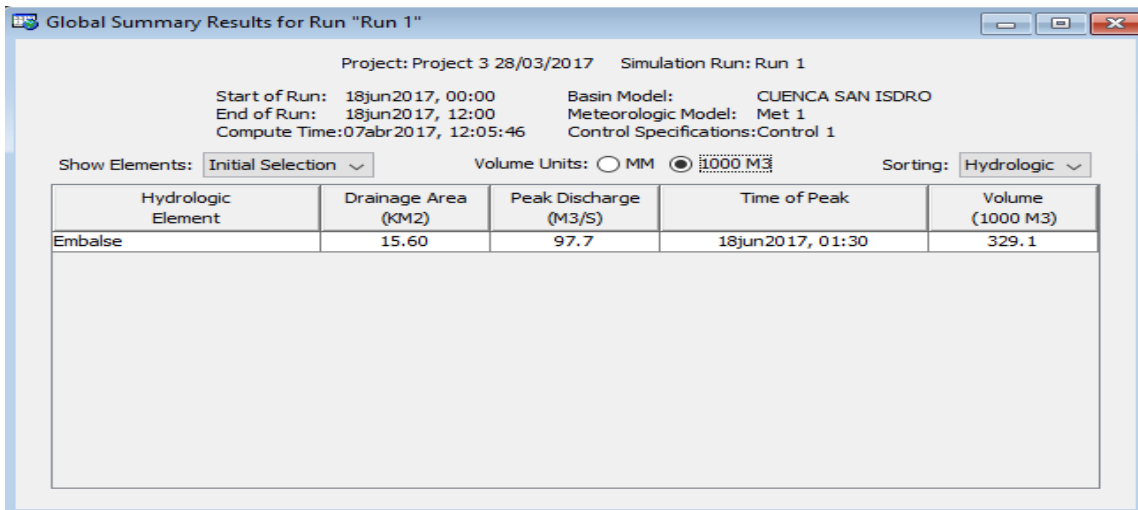


Grafico 9. Hidrograma de la unión de corriente en el nudo 2.
Fuente: Propia.

- **Resultado en el embalse**



Project: Project 3 28/03/2017 Simulation Run: Run 1

Start of Run: 18jun2017, 00:00 Basin Model: CUENCA SAN ISDRO
End of Run: 18jun2017, 12:00 Meteorologic Model: Met 1
Compute Time: 07abr2017, 12:05:46 Control Specifications: Control 1

Show Elements: Initial Selection Volume Units: MM 1000 M3 Sorting: Hydrologic

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (1000 M3)
Embalse	15.60	97.7	18jun2017, 01:30	329.1

Figura 15. Resumen de resultados en el embalse (Caudal Punta).
Fuente: Propia. Mendoza, J. y Tirado, D. (2017).

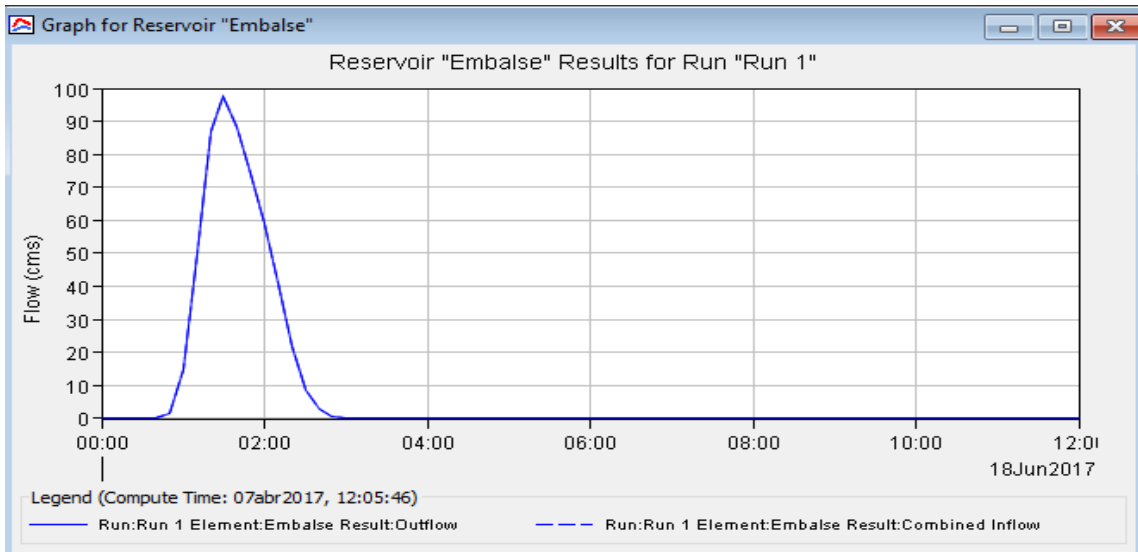


Grafico 10. Histograma en el embalse.
Fuente: Propia (2017).

2.3. Comparación del caudal en los escenarios de la modelación actual y futura a 25 años.

Para el desarrollo de este tercer objetivo se propone una modelación para un escenario futuro, siguiendo los mismos parámetros de la modelación actual, a excepción del número de curvas. Se cree que de aquí a 25 años la micro cuenca será una micro cuenca urbanizada, por lo cual el número de curvas es 89, 89 y 92 respectivamente para las tres micro cuencas.

2.3.1. Modelación Hidrológica- Modelo HMS

Modelo de la micro cuenca

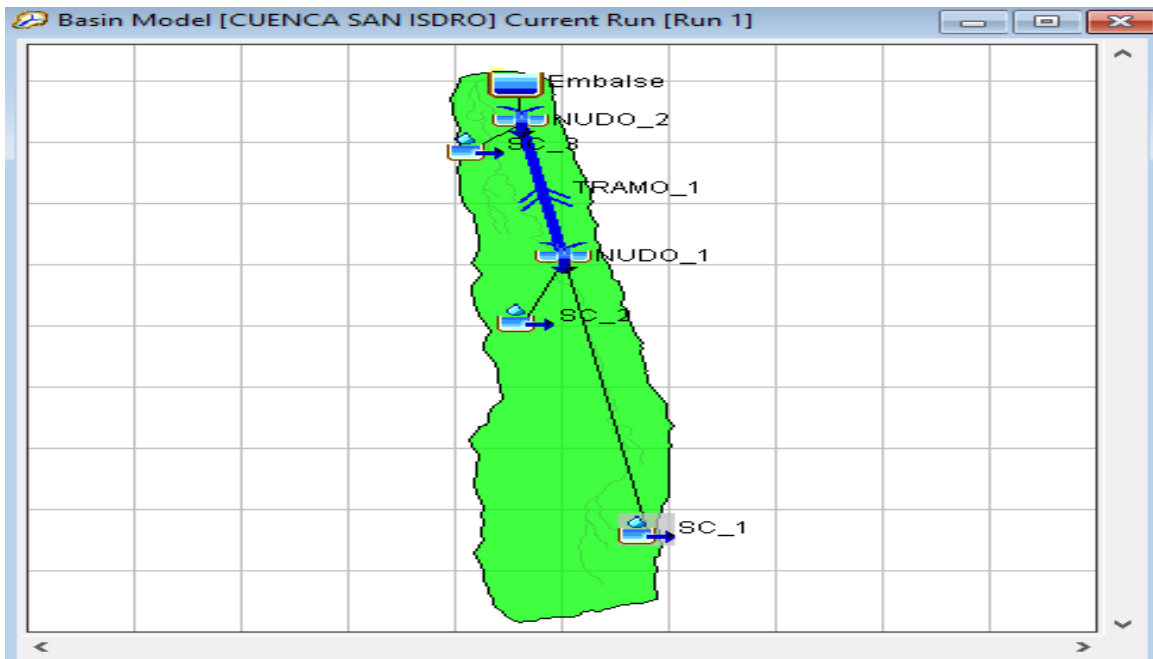
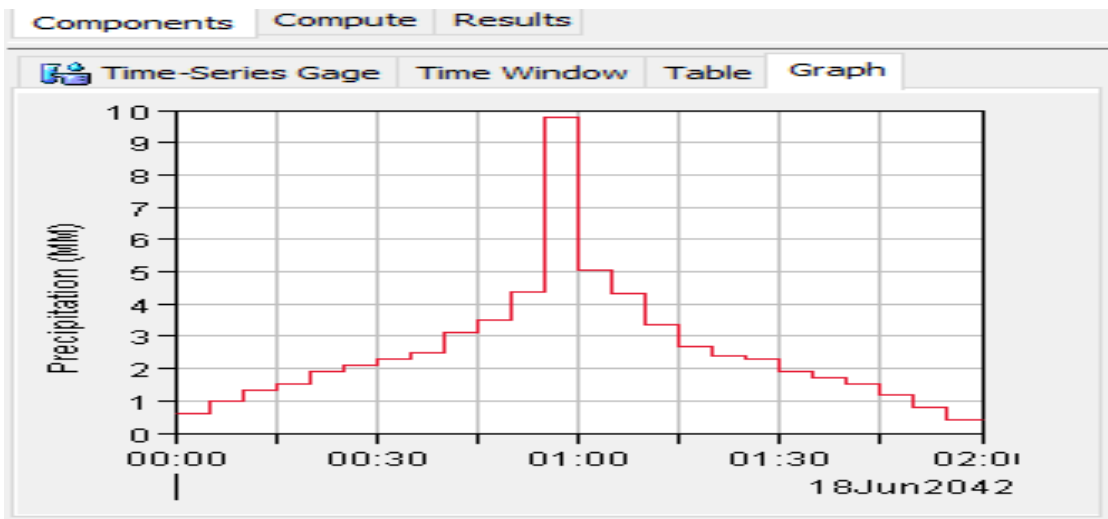


Figura 16. Esquematización de la tormenta de proyecto modelación futura.
Fuente: Propia. Mendoza, J. y Tirado, D. (2017).

2.3.2. Modelo Meteorológico



*Grafico 11. Esquematización de la tormenta de proyecto modelación futura.
Fuente: Propia.*

2.3.3. Especificaciones de control

The screenshot shows the 'Control Specifications' dialog box in the HMS software. The dialog is titled 'Control 1' and contains the following fields:

- Description: [Empty field]
- *Start Date (ddMMMYYYY): 18jun2042
- *Start Time (HH:mm): 00:00
- *End Date (ddMMMYYYY): 18jun2042
- *End Time (HH:mm): 12:00
- Time Interval: 10 Minutes (dropdown menu)

*Figura 17. Pantalla de control de especificaciones temporales sobre la tormenta usada para correr el modelo de la cuenca San Isidro, modelación futura.
Fuente: Propia. Mendoza, J. y Tirado, D. (2017).*

2.3.4. Simulación Hidrológica

- Resultados de la Modelación Hidrológica

Project: Project 3 28/03/2017 Simulation Run: Run 1

Start of Run: 18jun2042, 00:00 Basin Model: CUENCA SAN ISDRO
 End of Run: 18jun2042, 12:00 Meteorologic Model: Met 1
 Compute Time: DATA CHANGED, RECOMPUTE Control Specifications: Control 1

Show Elements: All Elements Volume Units: MM 1000 M3 Sorting: Hydrologic

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (1000 M3)
SC_1	7.27	87.6	18jun2017, 01:10	256.3
SC_2	7.15	82.1	18jun2017, 01:10	252.0
NUDO_1	14.42	169.8	18jun2017, 01:10	508.3
TRAMO_1	14.42	148.7	18jun2017, 01:20	508.3
SC_3	1.18	15.7	18jun2017, 01:10	49.6
NUDO_2	15.60	162.6	18jun2017, 01:20	557.9
Embalse	15.60	162.6	18jun2017, 01:20	557.9

Figura 18. Resumen de los resultados del caudal punta y volumen de agua asociado a cada uno de los elementos hidrológicos, modelación futura.

Fuente: Propia. Mendoza, J. y Tirado, D. (2017).

- Resultados de la micro cuenca 1

Project: Project 3 28/03/2017 Simulation Run: Run 1

Start of Run: 18jun2042, 00:00 Basin Model: CUENCA SAN ISDRO
 End of Run: 18jun2042, 12:00 Meteorologic Model: Met 1
 Compute Time: DATA CHANGED, RECOMPUTE Control Specifications: Control 1

Show Elements: Initial Selection Volume Units: MM 1000 M3 Sorting: Hydrologic

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (1000 M3)
SC_1	7.27	87.6	18jun2017, 01:10	256.3

Figura 19. Resumen de resultados de la micro cuenca 1. (Caudal punta, precipitación total, lluvia neta en el suelo y lluvia neta), modelación futura.

Fuente: Propia. Mendoza, J. y Tirado, D. (2017).

“Modelación hidrológica para la micro cuenca San Isidro Libertador usando el programa HMS”.

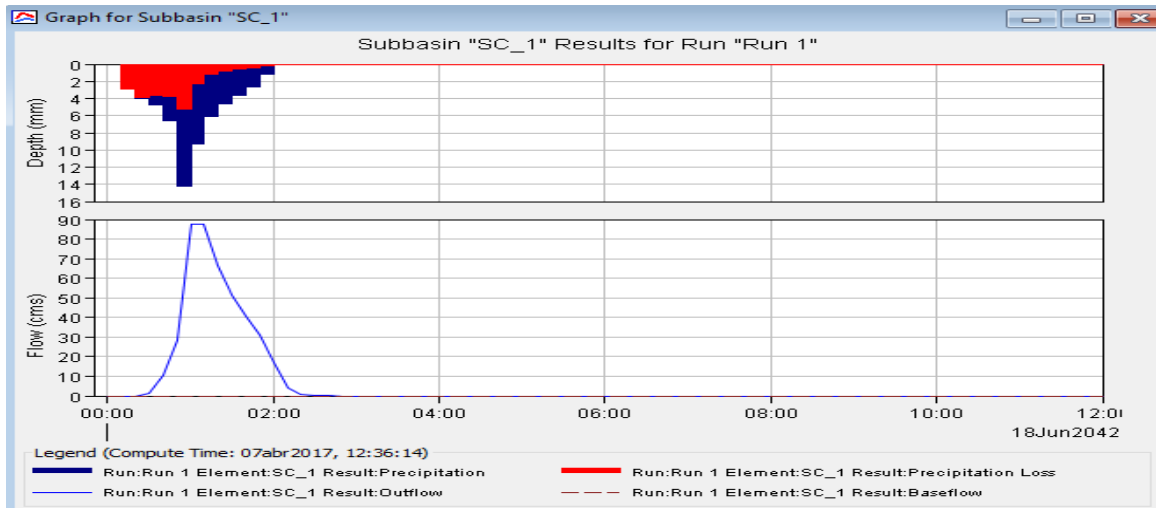


Grafico 12. Representación del Hietograma de la tormenta micro cuenca 1, modelación futura.
Fuente: Propia.

- **Resultados de la micro cuenca 2**

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (1000 M3)
SC_2	7.15	82.1	18jun2017, 01:10	252.0

Figura 20. Resumen de resultados de la micro cuenca 2. (Caudal punta, precipitación total, lluvia neta en el suelo y lluvia neta), modelación futura.
Fuente: Propia. Mendoza, J. y Tirado, D. (2017).

“Modelación hidrológica para la micro cuenca San Isidro Libertador usando el programa HMS”.

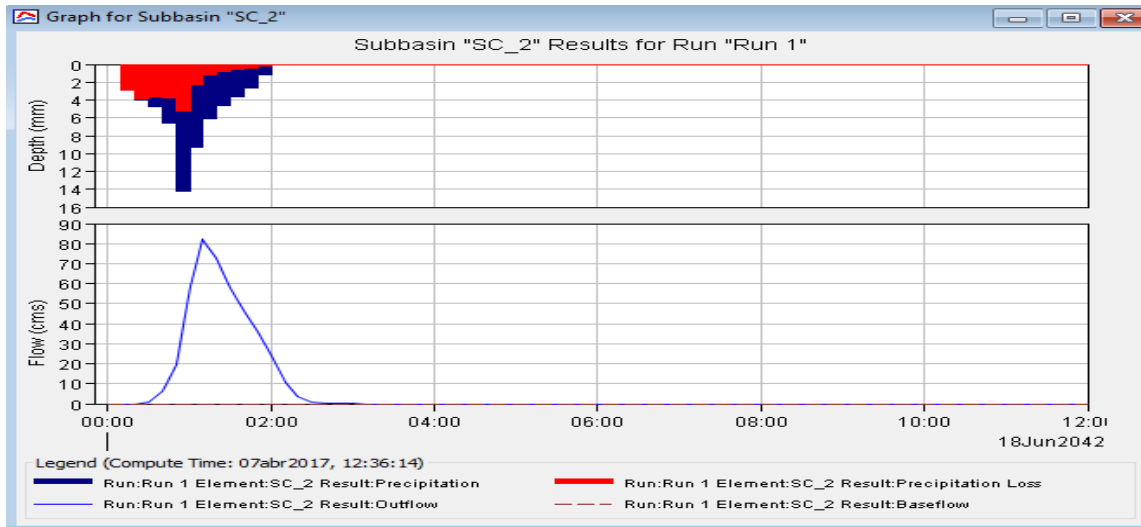


Grafico 13. Representación del Hietograma de la tormenta micro cuenca 2, modelación futura.
Fuente: Propia.

- **Resultados del nodo 1**

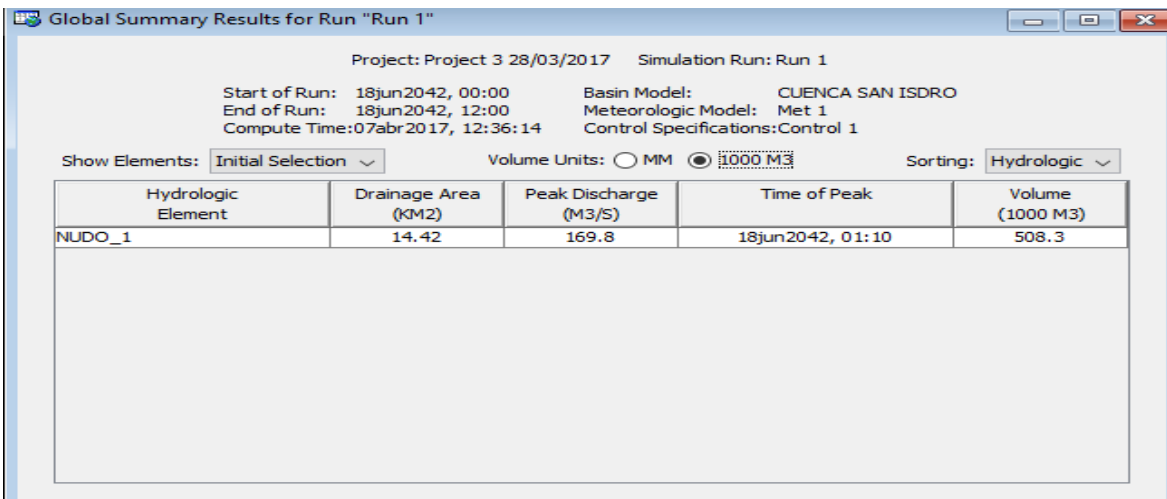


Figura 21. Resumen de resultados de la unión de corriente-1 (Caudal Punta), modelación futura.
Fuente: Propia. Mendoza, J. y Tirado, D. (2017).

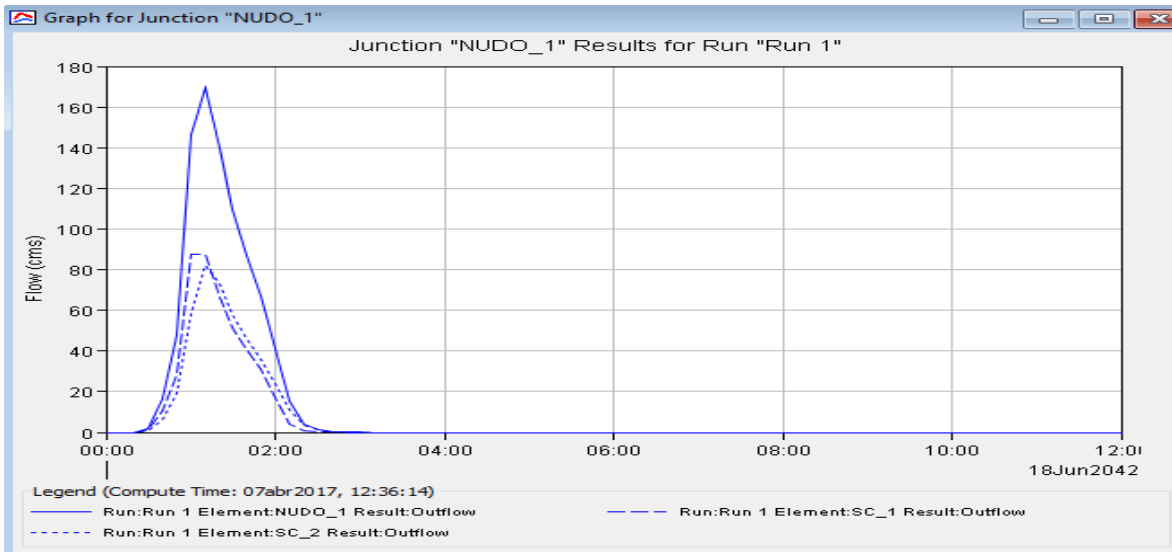


Grafico 14. Hidrograma de la unión de corriente en el nudo 1, modelación futura.
Fuente: Propia.

- **Resultados del tramo 1**

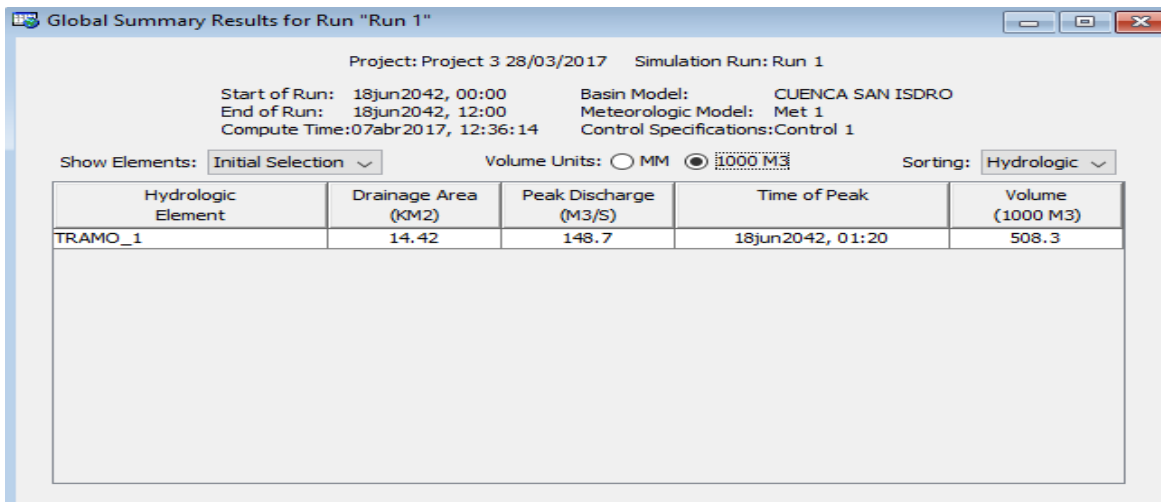


Figura 22. Resumen de resultados del tramo de corriente-1 (Caudal Punta), modelación futura.
Fuente: Propia. Mendoza, J. y Tirado, D. (2017).

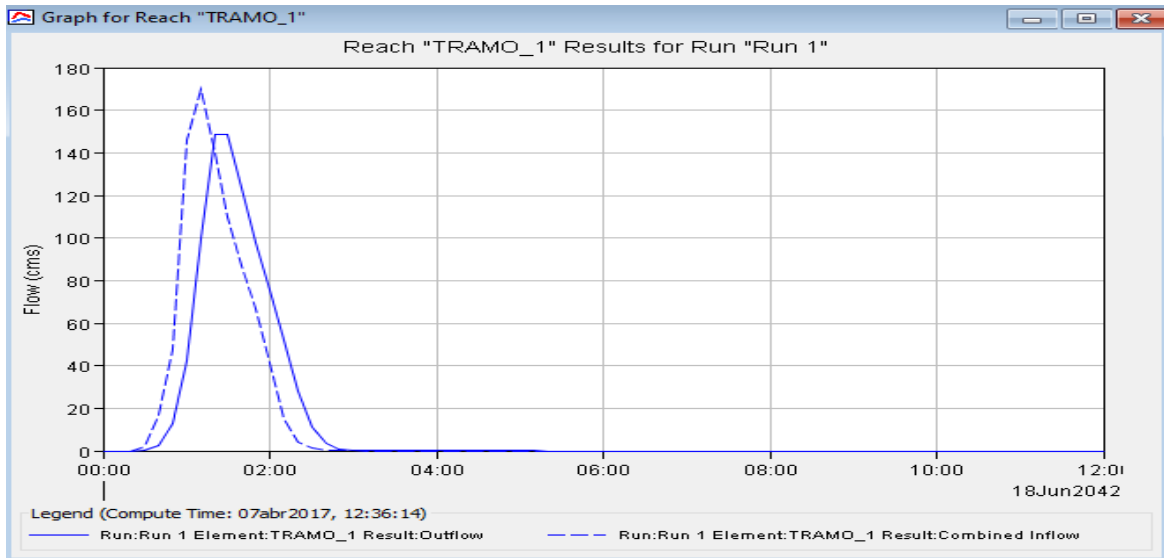


Grafico 15. Hidrograma del tramo de corriente-1 entre el nudo 1 y el nudo 2, modelación futura.
Fuente: Propia.

- **Resultados de la micro cuenca 3**

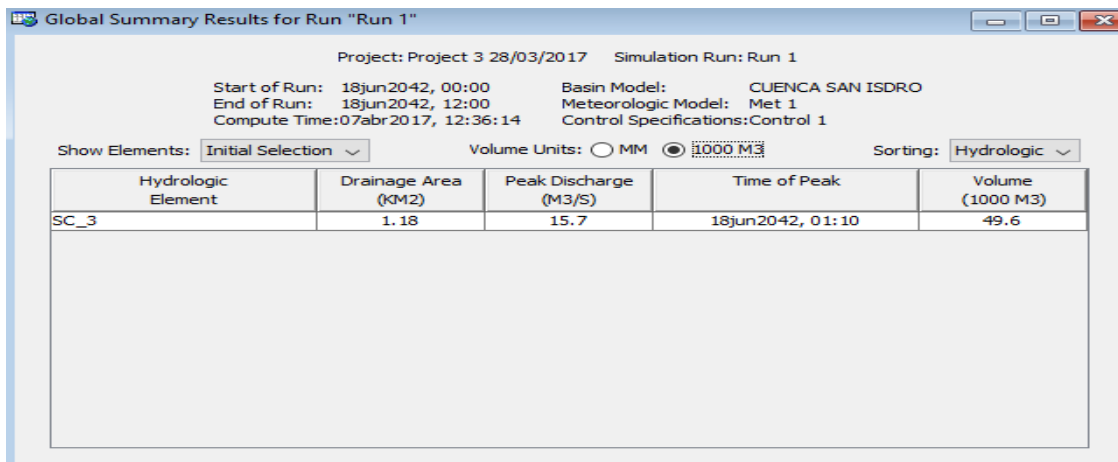


Figura 23. Resumen de resultados de la micro cuenca 3. (Caudal punta, precipitación total, lluvia neta en el suelo y lluvia neta), modelación futura.
Fuente: Propia. Mendoza, J. y Tirado, D. (2017).

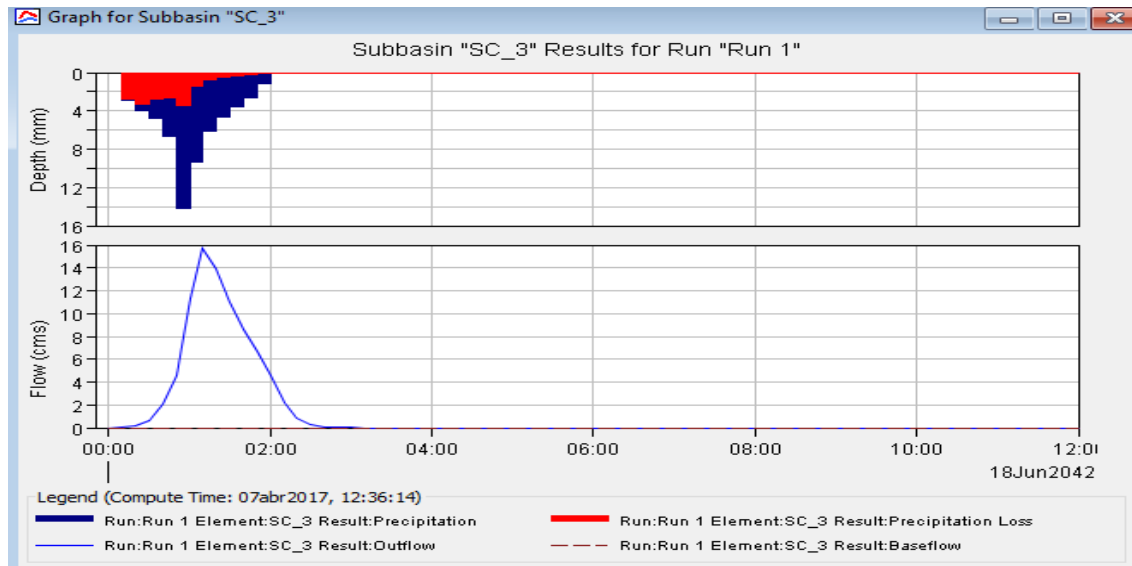


Grafico 16. Representación del Hietograma de la tormenta micro cuenca 3, modelación futura.
Fuente: Propia.

- **Resultados del nodo 2**

Project: Project 3 28/03/2017 Simulation Run: Run 1

Start of Run: 18jun2042, 00:00 Basin Model: CUENCA SAN ISDRO
End of Run: 18jun2042, 12:00 Meteorologic Model: Met 1
Compute Time:07abr2017, 12:36:14 Control Specifications:Control 1

Show Elements: Initial Selection Volume Units: MM 1000 M3 Sorting: Hydrologic

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (1000 M3)
NUDO_2	15.60	162.6	18jun2042, 01:20	557.9

Figura 24. Resumen de resultados de la unión de corriente-1 (Caudal Punta), modelación futura.
Fuente: Propia. Mendoza, J. y Tirado, D. (2017).

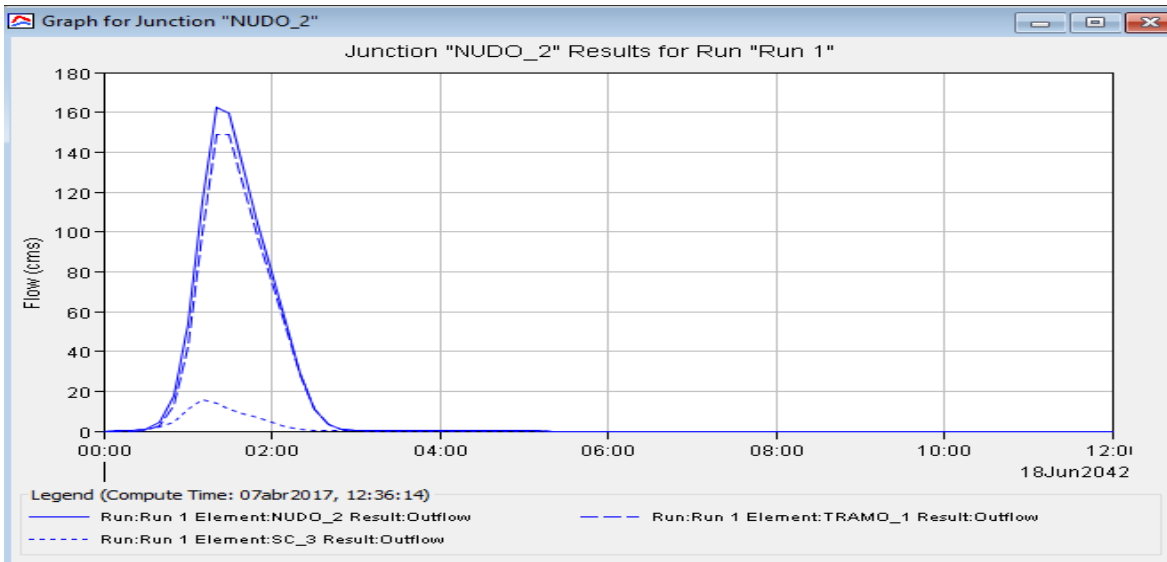


Grafico 17. Hidrograma de la unión de corriente en el nudo 2, modelación futura.
Fuente: Propia.

- **Resultados del embalse**

Global Summary Results for Run "Run 1"

Project: Project 3 28/03/2017 Simulation Run: Run 1

Start of Run: 18jun2042, 00:00 Basin Model: CUENCA SAN ISDRO
End of Run: 18jun2042, 12:00 Meteorologic Model: Met 1
Compute Time:07abr2017, 12:36:14 Control Specifications:Control 1

Show Elements: Initial Selection Volume Units: MM 1000 M3 Sorting: Hydrologic

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (1000 M3)
Embalse	15.60	162.6	18jun2042, 01:20	557.9

Figura 25. Resumen de resultados en el embalse (Caudal Punta), modelación futura.
Fuente: Propia. Mendoza, J. y Tirado, D. (2017).

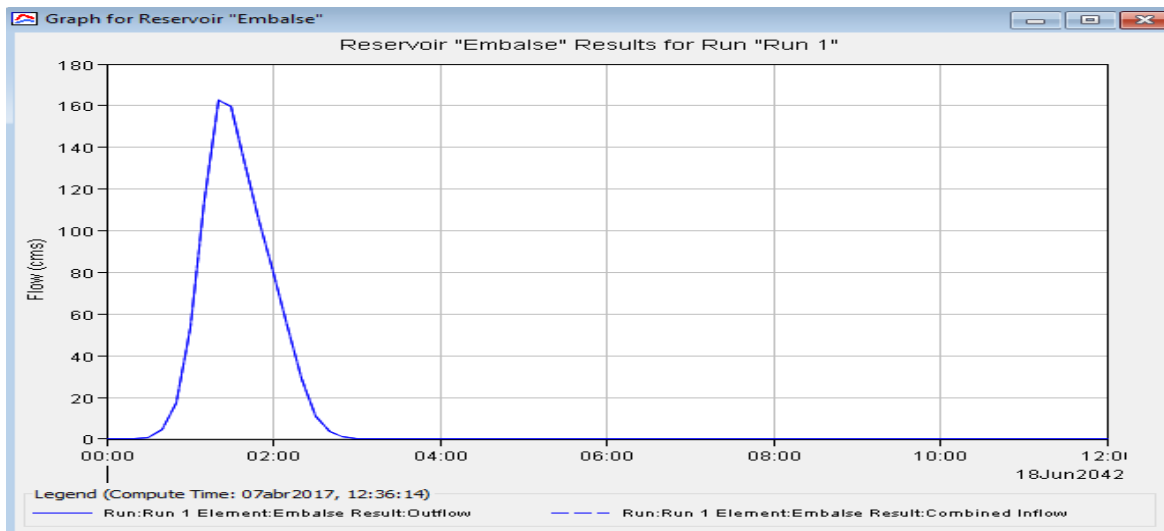


Grafico 18. Histograma en el embalse.
Fuente: Propia (2017).

CAPITULO III

ANALISIS DE

RESULTADOS

3. Análisis de resultados.

3.1. Características físicas de la micro cuenca

En relación a las características físicas, la micro cuenca San Isidro pertenece a la cuenca sur de Managua, esta tiene un área de 15.60km^2 y un perímetro de 23km. Para esta área se encontró un Índice de Gravelius de 1.64 lo que significa que la micro cuenca no tiene una forma redonda, más bien presenta una delimitación irregular. Además se calculó la pendiente media dando un valor de 4.88% lo que indica que el terreno tendrá un comportamiento plano. Por otro lado se obtuvo la densidad de drenaje de la micro cuenca siendo este de $0.72\text{km}/\text{km}^2$, por lo que se puede decir que es pobremente drenada, es decir tiene una vegetación pobre y el suelo no es muy permeable.

También se encontró que la micro cuenca tiene un orden de corriente de aguas 1-2-3, se puede decir que con este orden de río la red hídrica es pequeña, lo cual se relaciona con el área calculada. En relación al rectángulo equivalente se calculó el lado mayor siendo este de 9.93km y el lado menor de 1.57km; este permite representar a la micro cuenca de su forma heterogénea en la forma de un rectángulo que tiene la misma área y perímetro. En lo que concierne al gráfico 1 (Gráfica de la curva hipsométrica) se puede decir que la curva tiene un relieve irregular.

Las curvas IDF calculadas en el gráfico 2 representan la intensidad media en intervalos de diferente duración, correspondiendo todos los de una misma curva, a diferentes períodos de retorno. Lo que significa que para un periodo de retorno de 25 años en un intervalo de 5 minutos habrá una intensidad máxima de 234.874 mm/hrs. representando un mayor aumento de descarga hacia el embalse.

3.2. Modelamiento hidrológico de la micro cuenca

Por otra parte, en la implementación del modelo en HEC-HMS se determinaron algunos parámetros hidrológicos, los cuales se realizaron después de haber tributado la micro cuenca (San Isidro Libertador), generándose 3 micro cuencas con sus parámetros calculados, a continuación se tienen lo siguiente:

La micro cuenca 1, tiene un área de 7.27 km^2 , tiempo de concentración y un tiempo de retardo de 14.507 min y 5.077 min respectivamente. Además se determinó el número de curvas de acuerdo al uso que tiene el suelo en ésta micro cuenca, por lo que se clasifico en un suelo con condiciones óptimas y se obtuvo un valor de 80 (según tabla de números de curvas de escorrentía).

La micro cuenca 2 tiene un área de 7.15 km^2 , un tiempo de concentración de 27.112 min y un tiempo de retardo 9.489 min. En lo que concierne a la clasificación para el número de curvas se encontró que de acuerdo a las características de ésta, es un suelo en condiciones pobres dando un valor de 80 (según tabla de números de curvas de escorrentía).

En la micro cuenca 3 se determinó un área de 1.18 km^2 , para la cual también se encontró un tiempo de concentración y un tiempo de retardo, siendo estos de 30.282 min y 10.599 min. Debido a que esta se encuentra entre el residencial: “Las colinas del memorial Sandino” y una estación policial, se le dio una clasificación de suelo de acuerdo al tamaño de los lotes del residencial, obteniendo así el número de curvas de 77 (según tabla de números de curvas de escorrentía).

Una vez introducido estos parámetros (tiempo de concentración, tiempo de retardo, numero de curvas) en el programa, este se ejecuta generando Hidrograma unitarios y utilizando el método de tránsito de avenidas, dando como resultado caudales transitados por cada una de las micro cuencas; para la micro cuenca 1 el caudal fue de $53.6 \text{ m}^3/\text{s}$, para la 2 es de $46.5 \text{ m}^3/\text{s}$ y para la micro cuenca 3 fue de $6.8 \text{ m}^3/\text{s}$, siendo este último el caudal total que recibirá el embalse $97.7 \text{ m}^3/\text{s}$.

Para este objetivo se logró implementar con éxito el programa HMS, en el que se introdujeron datos necesarios a la hora de efectuar la modelación y poder determinar de manera analítica a través de los esquemas los problemas que tiene el embalse. Uno de las dificultades del embalse es que a través de los años y con ayuda de la deforestación y la acción antrópica seguida de la erosión ha ido perdiendo la capacidad de almacenar escorrentía superficial que llega desde la parte alta de la microcuenca generando así un problema ambiental. Otro problema que se encontró en el embalse fue que en el lugar hay presencia humana y esta se ve afectada cuando la micro presa se desborda en las épocas de lluvias provocando inundaciones en los lugares aledaños cercanos a la población de la zona.

3.3.Comparación del caudal en los escenarios de la modelación actual y futura

Para el desarrollo de este objetivo se realiza en HMS una modelación futura para la micro cuenca, siguiendo la misma secuencia de la modelación actual; todos los parámetros son los mismos a excepción del número de curvas. Se espera que la micro cuenca este urbanizada y bajo este escenario se seleccionaron los números de curvas para las micro cuencas. Para la micro cuenca 1 el número de curvas es 80, en la micro cuenca 2 es 89 y para la micro cuenca 3 es 92.

En comparación con los estudios realizados en la modelación actual y futura, los resultados de estos estudios presentan una variabilidad en el sistema hidrológico de la micro cuenca que comprende la deforestación, el cambio y uso de suelo, el asentamiento humano, la erosión producto del cambio ecológico, entre otros aspectos de orden ambiental. Por otro lado las transformaciones físicas en tiempos futuros serán producidas por la intervención antrópica, esto implica que las condiciones actuales y futuras presentan una diferencia en el caudal que recibe la micro cuenca, en la modelación actual el caudal que recibirá el embalse de la micro cuenca es de $97.7 \text{ m}^3/\text{s}$ y en la modelación futura este es de $162.6 \text{ m}^3/\text{s}$, por lo cual se puede decir que en 25 años el aumento de caudal será de $65 \text{ m}^3/\text{s}$, lo cual equivale a un incremento porcentual del 66% .

CAPITULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4. Capítulo IV: Conclusiones y Recomendaciones.

4.1. Conclusión

Una vez finalizado el presente tema de investigación se logró cumplir satisfactoriamente con los objetivos planteados por lo que hemos llegado a las siguientes conclusiones:

El embalse ubicado en la parte baja de la micro cuenca San Isidro Libertador es una micro presa construida con la finalidad de retener las escorrentías superficiales que drenan de la parte alta de la misma. Siendo delimitada la micro cuenca han sido determinadas cada una de las características físicas que la componen, las cuales se ven afectadas por la intervención antrópica y la erosión del suelo. Una de las características de la micro cuenca es que su forma no es redonda, esto debido a que su delimitación es irregular, presenta un relieve poco accidentado, es decir con comportamiento plano, con drenaje y vegetación pobre, el suelo de la misma no es permeable, así mismo posee una red hídrica de poca dimensión, lo cual tiene relación directa con el área que ha sido calculada.

Se determinó el caudal transitado para cada una de las micro cuencas mediante la modelación en HMS (Hydrologic Model System) donde han sido aplicados los diferentes métodos que presenta dicho programa, en la modelación actual el caudal es de $97.7\text{m}^3/\text{s}$ y en el escenario futuro es de $162.6\text{m}^3/\text{s}$. Para el proceso de transformación lluvia-caudal se aplicó el método Hidrograma unitario y en el proceso de infiltración o pérdidas se implementó el método de números de curvas (CN), en los tramos de corrientes se utilizó el método de Muskingum.

Al realizar la modelación actual y futura en el *software* es notable que se incrementa el caudal en un 66%, estas variaciones son producto de los cambios (implementados con el fin de realizar la simulación) a las características geomorfológicas de la micro cuenca tales como: la pendiente, la vegetación, la actividad humana. Es importante mencionar que la deforestación en la micro cuenca provoca que el suelo sea poco permeable, aumentando así la escorrentía superficial de la de la zona en estudio.

Cabe destacar que los resultados de este estudio hidrológico, puede servir para un rediseño hidráulico, por lo cual se recomienda usar el caudal futuro $162.6\text{m}^3/\text{s}$, ya que éste es el caudal que estará fluyendo en dicha zona al final del periodo de diseño.

4.2. Recomendaciones.

- ✚ Dar seguimiento a la estación RURD, y así se puedan obtener mayores datos históricos y a la vez pueda ser utilizada para el estudio de zonas cercanas.
- ✚ Evitar la deforestación en la micro cuenca San Isidro Libertador, ya que esto produce efectos críticos para la zona.
- ✚ Realizar nuevas prácticas de cultivo, de manera que se efectuó un cambio en el uso de suelo.
- ✚ Para asegurar mayor vida útil y el correcto funcionamiento se debe realizar mantenimientos preventivos y periódicos al embalse, y de esta forma optimizar recursos para evitar el mantenimiento correctivo.
- ✚ Realizar un levantamiento topográfico para la posterior determinación de la capacidad del embalse de la micro presa San Isidro Libertador.

CAPITULO V

BIBLIOGRAFIA

5. Bibliografía

(ALMA), A. d. (2016). Managua.

Bernal, C. (2006). Metodología de la Investigación. Mexico.: Mexico: Pearson Educación de Mexico, S.A. de C.V.

Chavez, M. B. (2003). Hidrología Cuantitativa. Managua, Nicaragua: UNI-Managua.

Instituto Nicaraguense de Estudios Territoriales, (. (2016). Intensidades máximas anuales de precipitación. Managua, Nicaragua.

Keyling Blandon, F. O. (2010). Diseño del sistema de drenaje pluvial para el tramo del boulevard Pancasan-Petronic El Carmen, en la ciudad de Esteli . Esteli.

Moreno Ayestas, S. (1994). Apuntes de Hidrología de Superficies. Universidad Nacional de Ingeniería. Managua.: Printart Editores.

Sanchez., F. J. (S F.). Modelación Hidrológica mediante HEC-HMS. España: Universidad Salamanca España.

Tirado, V. (2015). Modelo de pronóstico de precipitación para la hoya 69 de Nicaragua. Managua, Nicaragua: UNAN-Managua.

Yasser Gonzales, A. L. (2013). Reemplazo de diseño existente de la micro presa San Isidro Libertador, ubicada en el sector sur del Ba. Memorial Sandino, municipio de Managua para un periodo de 25 años. Managua.

CAPITULO VI

ANEXOS

6. Anexos

Anexo

6.1. Imágenes



Figura 26. Embalse San Isidro Libertador.
Fuente: Propia. Mendoza, J. y Tirado, D. (2017).



Figura 27. Cauce natural de la red hídrica de la micro cuenca San Isidro Libertador.
Fuente: Propia. Mendoza, J. y Tirado, D. (2017).



Figura 28. Entrada del Aliviadero del embalse.
Fuente: Propia. Mendoza, J. y Tirado, D. (2017).



Figura 29. Salida del aliviadero del embalse.
Fuente: Propia. Mendoza, J. y Tirado, D. (2017).



Figura 30. Embalse, base policial y residencial “Colinas del memorial Sandino”.
Fuente: Propia. Mendoza, J. y Tirado, D. (2017).



Figura 31. Embalse, base policial y residencial “Colinas del memorial Sandino”.
Fuente: Propia. Mendoza, J. y Tirado, D. (2017).

6.2. Rectángulo Equivalente

6.3. Planos

